



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL

TARCILA FRANCO

**UTILIZAÇÃO DE *PROXIES* GEOQUÍMICOS PARA
ANÁLISE DOS PADRÕES DE SEDIMENTAÇÃO NA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA ADJACENTE A
FOZ DO RIO DOCE (ES)**

ARACRUZ

2013

TARCILA FRANCO

**UTILIZAÇÃO DE *PROXIES* GEOQUÍMICOS PARA
ANÁLISE DOS PADRÕES DE SEDIMENTAÇÃO NA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA ADJACENTE A
FOZ DO RIO DOCE (ES)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Valéria da S. Quaresma.

ARACRUZ

2013

TARCILA FRANCO

**UTILIZAÇÃO DE *PROXIES* GEOQUÍMICOS PARA
ANÁLISE DOS PADRÕES DE SEDIMENTAÇÃO NA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA ADJACENTE A
FOZ DO RIO DOCE (ES)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Valéria da Silva Quaresma – Orientadora
Universidade Federal do Espírito Santo / UFES

Prof. Dr. Renato Rodrigues Neto – Examinadora Interna
Universidade Federal do Espírito Santo / UFES

Prof. Dr. Estefan Monteiro da Fonseca – Examinador
Externo
Universidade Federal Fluminense / UFF

Dedico este trabalho à minha família,
em especial aos meus pais Acacio e Inês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado e auxílio financeiro ao projeto de pesquisa (Projeto Ciências do Mar - Sedimentos finos em estuários e plataforma continental: formação e dinâmica de depósitos lamosos);

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pela oportunidade de cursar o mestrado;

A minha orientadora Valéria da Silva Quaresma cujos ensinamentos profissionais e pessoais tão valiosos jamais serão esquecidos;

Ao professor Alex Cardoso Bastos pela sabedoria e descontração no cotidiano do laboratório;

Ao Labogeo pela infraestrutura cedida para o desenvolvimento do trabalho e aos seus brilhantes integrantes pelo companheirismo, força e amizade;

Ao Lagemar (Laboratório de Geologia Marinha) da universidade Federal Fluminense na pessoa do professor José Antônio Baptista Neto por disponibilizar a infraestrutura do laboratório e pelos ensinamentos no desenvolvimento do trabalho;

Aos alunos e pesquisadores do Lagemar que auxiliaram o desenvolvimento das análises;

Aos professores doutores Renato Rodrigues Neto, Estefan Monteiro da Fonseca e Gilberto Barroso por aceitarem fazer parte da banca examinadora;

Aos funcionários da Base Oceanográfica de Santa Cruz e demais amigos da pós-graduação por fazerem meus dias de laboratório muito mais divertidos;

Aos amigos, de perto e de longe, cuja simples existência me dá forças pra seguir em frente;

À minha família por entender minha ausência e incentivar meu caminho acadêmico;

A Taiza e Roniel por, agora mais do que nunca, fazer parte do meu dia a dia;

Enfim, a Deus que sempre me ampara e nunca me abandona.

“É curioso que o mar, do qual a vida se originou, seja agora ameaçado por atividades de uma única espécie de ser vivo. Mas o mar, embora sinistramente alterado, continuará a existir; em vez dele, o que está sob ameaça é a própria vida.”

Rachel Carson

RESUMO

Na cidade de Linhares (ES) o rio Doce deságua no Oceano Atlântico formando uma feição deltaica na Plataforma Continental adjacente. Os sedimentos que compõem o delta tem origem na bacia hidrográfica do Rio Doce que é a maior em volume de vazão em m^3/s e área de drenagem do estado capixaba. Ao longo das últimas décadas a bacia passou por um intenso processo de ocupação, transformação e interferências diretas no canal principal. O objetivo do presente trabalho foi analisar *proxies* geoquímicos presentes no depósito deltaico do rio Doce e determinar um padrão deposicional através do comportamento dos elementos. Para isso foram realizadas análises sedimentológicas, de teor de matéria orgânica e nutrientes, concentração de metais e taxa de sedimentação em testemunhos coletados na plataforma continental adjacente a desembocadura do rio Doce, DT01 SUL (coletado ao Sul da desembocadura), DT02 NORTE (ao Norte) e suas respectivas réplicas, DT01R SUL e DT02R NORTE. Os testemunhos apresentaram composição de granulometria fina em sua maioria com maiores percentuais em DT01 SUL em relação a DT02 NORTE. O conjunto dos resultados obtidos para teor de água, densidade e porosidade identificaram um pacote sedimentar de deposição recente em DT01R SUL e sedimentos em DT02R NORTE com maior compactação. Sendo os pontos equidistantes da desembocadura, as maiores taxas de sedimentação encontradas em DT01R SUL indicam o maior aporte de sedimento para a região Sul em relação a região Norte, onde foi coletado o testemunho DT02R NORTE. Não foi possível identificar a fonte efetiva do material orgânico em DT01 SUL a partir da razão C/N, visto que os resultados situaram-se na faixa de transição entre fontes terrestres e marinhas. Em DT02 NORTE ficou clara a importância da produção autóctone visto que a razão C/N ficou na faixa da matéria orgânica de origem marinha. Os valores de Cu estiveram próximos aos naturais com algumas exceções principalmente em DT01 SUL. Já os valores de Pb excederam o valor encontrado no background em ambos os testemunhos podendo indicar maior influência do aporte antrópico. Assim, por meio dos resultados obtidos do comportamento de *proxies* no delta do Rio Doce foi possível identificar uma deposição preferencial do sedimento fino transportado pelo rio através da Plataforma Continental adjacente em direção ao Sul da desembocadura.

Palavras-chaves: *Proxies* Geoquímicos, padrão de deposição preferencial, delta submerso do Rio Doce.

ABSTRACT

In the Linhares city (Espírito Santo State), the Doce River empties into the Atlantic Ocean forming a deltaic feature on the Continental Shelf. The sediments that make up the delta come from the Doce River basin that is the largest in volume flow e drainage area in the State of Espírito Santo. Over the last decades the basin has undergone an intense process of occupation, processing e direct interference in the main channel. The objective of this study was to analyze geochemical *proxies* present at the Doce River deltaic deposit e determine a pattern of behavior by these depositional elements. For analyzes were performed sedimentological characteristics, organic matter e nutrients contents, metals concentration e sedimentation rates in cores collected on the continental shelf adjacent to the mouth of the Rio Doce. The cores were DT01 SOUTH (collected south of the mouth), DT02 NORTE (collected north) e their replicas, DT01R SOUTH e DT02R NORTE. The cores presented a composition of higher percentage of fine sediments in DT01 SOUTH compared to DT02 NORTE. The set of results obtained for water content, density e porosity identified a package of sedimentary recent deposition in DT01R SOUTH e DT02R NORTE sediments with higher compression. Being the points equidistant from the mouth, the highest sedimentation rates found in DT01R SOUTH indicate the major input of sediment to the South compared to the North. The C/N ratio in DT01 SOUTH was unable to identify the source of the organic material since the results were located in the transition zone between land e marine sources. In DT02 NORTH became clear the importance of autochthonous production as the C/N ratio was in the range of organic matter with marine origin. Cu values were close to natural with some exceptions mainly in DT01 SOUTH. The values of Pb exceeded the value found in the background on both cores may indicate a greater influence of anthropic contribution. Thus, the results obtained through the behavior of *proxies* in the delta of Rio Doce was possible to identify a preferential deposition of fine sediment carried by the river via the Continental Shelf adjacent to the South of the mouth.

Key-words: Geochemical *proxies*, preferential deposition pattern, Rio Doce subaqueous delta.

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Estudos com atividade do ^{210}Pb em testemunhos sedimentares.....	46
Tabela 2: Exemplos de estudos com índice de enriquecimento no território brasileiro.....	51

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Sistema de dispersão de sedimentos identificando sub-regiões e processos de produção, transporte e acumulação de sedimento. Fonte: Sommerfield <i>et al.</i> 2007.	14
Figura 2: Localização da bacia hidrográfica do rio Doce com destaque para o estado do Espírito Santo. Fonte: Campos 2011.	16
Figura 3: Faciologia dos sedimentos superficiais de fundo da Plataforma Continental Interna adjacente à foz do Rio Doce. Fonte: Albino e Suguio (2010).	18
Figura 4: Decaimento da série de ^{238}U até chegar ao filho ^{210}Pb . Fonte: Gomes 2010.	19
Figura 5: Principais fontes de matéria orgânica para o sedimento marinho. Fonte: Meyers 1997.	21
Figura 6: Exportação fluvial de fósforo inorgânico dissolvido - DIP (Tg/ano) dos continentes para as bacias oceânicas como estimado pelo <i>Global Nutrient Export from Watersheds Model</i> . O termo <i>weathered P</i> representa o aporte natural de fósforo no ambiente. Fonte: Libes 2009.	22
Figura 7: Localização dos pontos amostrais de coleta dos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE e de suas respectivas réplicas.	27
Figura 8: Descrição granulométrica dos teores de areia, silte e argila ao longo dos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.	32
Figura 9: Teor de água (%), Densidade (g/cm^3) e Porosidade em DT01R SUL e DT02R NORTE.	34
Figura 10: Atividade do ^{210}Pb e Taxa de sedimentação nos testemunhos DT01R SUL e DT02R NORTE coletados na plataforma continental interna adjacente à foz do Rio Doce.	36
Figura 11: Variações nos teores de matéria orgânica total (MOT) nos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.	38

Figura 12: Teor de fósforo total (PT), fósforo inorgânico (PI) e fósforo orgânico (PO) nos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.....	39
Figura 13: Teores de carbono total (%C) e nitrogênio total (%N) nos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.....	40
Figura 14: Razão C/N calculadas para os testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.	41
Figura 15: Concentrações de Cu e Pb nos testemunhos coletados na plataforma continental adjacente à foz do Rio Doce.....	42
Figura 16: Índice de enriquecimento (EF) para os metais Cu e Pb encontrados em testemunhos próximos à foz do Rio Doce.	43

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	14
1.1 Introdução geral	14
1.2 Objetivos	16
1.2.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 Apresentação dos proxies	17
1.3.1 CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS	17
1.3.2 ATIVIDADE DE ^{210}Pb E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO	18
1.3.3 ANÁLISE DOS TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA, NUTRIENTES E RAZÃO C/N	20
1.3.4 CONCENTRAÇÃO DOS METAIS Pb E Cu	23
1.4 Estrutura da dissertação	25
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA	26
2.1 Coleta dos testemunhos	26
2.2 Granulometria e características físico-químicas	27
2.3 Atividade de ^{210}Pb e taxa de sedimentação	28
2.4 Teores de matéria orgânica, nutrientes e razão C/N	29
2.5 Análise de metais pesados	29
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS	31
3.1 Granulometria	31
3.2 Teor de água, densidade e porosidade	32
3.3 Atividade de ^{210}Pb e taxa de sedimentação	35
3.4 Teores de matéria orgânica e carbono orgânico	37
3.5 Nutrientes e razão C/N	38
3.6 Concentração dos metais Pb e Cu e índice de enriquecimento	41

<i>CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO.....</i>	<i>44</i>
4.1 Características granulométricas e de taxa de sedimentação	44
4.2 Teores de MOT, COT, nutrientes e razão C/N.....	48
4.3 Concentração de metais (Cu e Pb) e índice de enriquecimento	50
<i>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO e considerações finais.....</i>	<i>54</i>
5.1 Conclusão	54
5.2 Trabalhos futuros e considerações finais	55
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	<i>56</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>63</i>

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 Introdução geral

Muitos problemas relacionados ao transporte e deposição de sedimento são consequências locais de processos hidrológicos e oceânicos regionais, e por isso faz-se necessário uma caracterização completa de todo o caminho realizado pelo sedimento, desde a fonte até sua acumulação (Figura 1). Considerando os ambientes marinho e costeiro, existe uma necessidade particular em se entender os sistemas sedimentares alimentados por rios, dados seus efeitos de transporte em larga escala, sua importância nos ciclos biogeoquímicos e na qualidade ambiental (Sommerfield *et al.*2007).

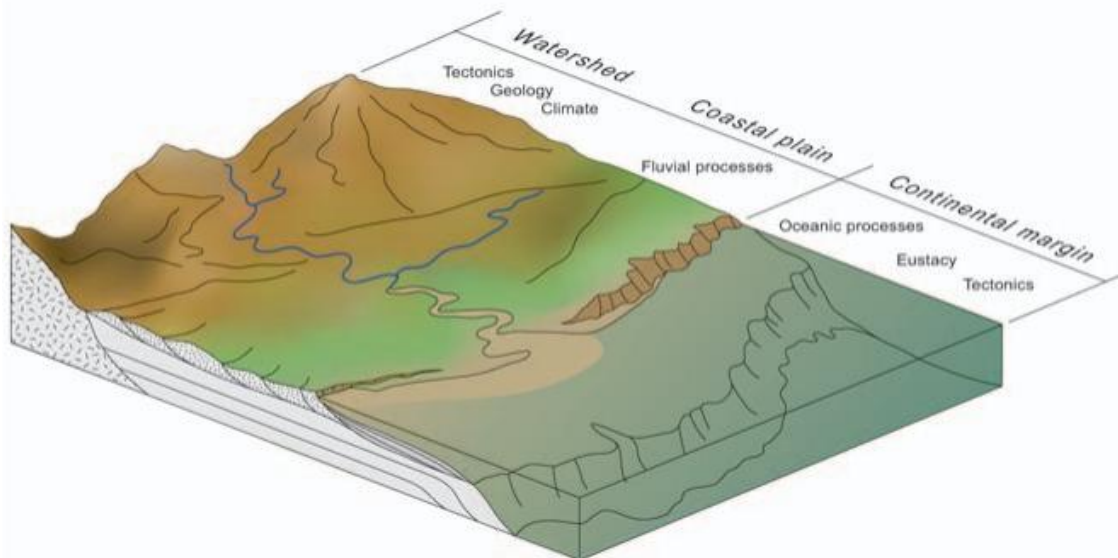


Figura 1: Sistema de dispersão de sedimentos identificando sub-regiões e processos de produção, transporte e acumulação de sedimento. Fonte: Sommerfield *et al.*2007.

As desembocaduras de rios são locais de grande acumulação de detritos, os quais podem formar um depósito sedimentar no ambiente em que deságuam chamado **delta**. A forma e as fácies deltaicas são influenciadas pelo tamanho e descarga dos rios, pela granulometria do sedimento fornecido, pela profundidade da água e pela energia associada com as ondas, correntes de maré e de deriva (Nichols 2009).

O depósito formado no ambiente marinho pode ser local de reciclagem, acumulação e liberação de elementos para os oceanos. Os oceanos são considerados um vazadouro natural dos continentes e por isso, elementos provenientes da atividade humana podem apresentar concentrações no sedimento que superaram os níveis naturais (Saito 2002). Dessa forma, esse depósito sedimentar é uma fonte potencial de informação sobre as taxas de suprimento, acumulação e distribuição de poluentes, os quais podem ser usados para quantificar o impacto humano no ambiente marinho e sua contribuição ao longo dos anos (Baptista Neto *et al.* 1999).

Em escala de tempo sazonal, a variação no aporte de sedimentos costeiros é controlada pela hidroclimatologia da bacia hidrográfica. Estabelecer uma história hidroclimática de uma bacia hidrográfica é importante para compreender as variações do fluxo de sedimentos em sistemas de dispersão sedimentar (Sommerfield *et al.* 2007).

A bacia do rio Doce possui uma área de drenagem de 83.465 km² com 14% pertencente ao estado do Espírito Santo e 86% ao estado de Minas Gerais (Figura 2). Ao longo das últimas décadas a bacia passou por um intenso processo de ocupação, transformação e interferências diretas no canal principal, tanto no Espírito Santo quanto em Minas Gerais. No Espírito Santo a construção de barragens para usinas hidrelétricas (Usina de Mascarenhas e Usina de Aimorés), resultou em modificações nas vazões e na morfologia do canal. Dentre as principais atividades econômicas realizadas na bacia hidrográfica estão a mineração, a silvicultura (sobretudo eucalipto destinado à indústria de celulose), a irrigação, agropecuária, urbanização e o crescimento da atividade petrolífera na região costeira (Coelho 2007).

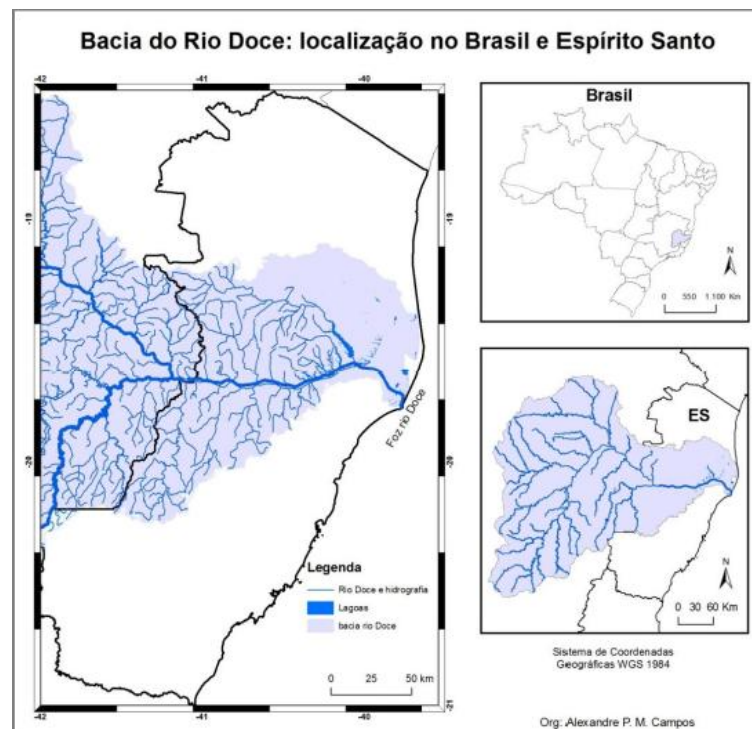


Figura 2: Localização da bacia hidrográfica do rio Doce com destaque para o estado do Espírito Santo. Fonte: Campos 2011.

São relativamente poucos os trabalhos científicos desenvolvidos na região do delta formado pelo Rio Doce e estes visam a sedimentação local e a formação geológica do depósito (Dominguez *et al.* 1983, Martin *et al.* 1996, Knoppers *et al.* 1999, Patchineelam e Smoak 1999, Albino e Suguio 2010). Em suma, a escolha do tema do presente trabalho justifica-se pela escassez de informações acerca da composição geoquímica do delta submerso do Rio Doce e pretende identificar regiões de deposição preferencial a partir do comportamento de determinados elementos denominados *proxies*.

1.2 Objetivos

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar a dinâmica de sedimentação através de testemunhos na plataforma interna adjacente a foz do Rio Doce.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as características físicas do sedimento do testemunho: granulometria, porosidade e densidade;
- Determinar o teor de matéria orgânica e nutrientes, concentração de metais e taxa de sedimentação;
- Integrar os resultados físicos e químicos para inferir o padrão de sedimentação local.

1.3 Apresentação dos proxies

1.3.1 CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS

A parte emersa e as regiões mais rasas de um delta geralmente contêm uma fração considerável de sedimentos arenosos, entretanto, a grande maioria do material transportado por rios consiste em partículas de silte e argila que geralmente são acumuladas nas regiões do delta onde a energia das ondas é menor (Walsh e Nittrouer 2009).

Existem três formas principais de transporte de material pelos rios para os oceanos: 1) Pluma superficial (ou hipopícnal); 2) dispersão através da camada limite de fundo e 3) fluxos de gravidade (pluma hiperpícnal e lama fluida) (Walsh e Nittrouer 2009).

Os sedimentos lamosos em suspensão na coluna d'água colidem-se influenciados por fluxos turbulentos formando agregados ou flocos (Mehta *et al.* 1989). Depois de formados, os flocos tendem a se depositar junto ao sedimento de fundo, caso a energia aumente em função dos fatores hidrodinâmicos (ondas e correntes), os flocos que foram depositados podem ser ressuspensos e erodidos, integreio novamente à coluna d'água. Nesse momento pode ocorrer a formação da lama fluida (densidade entre 10 a 100 g/l) próximo ao fundo, podendo esta deslocar-se ou não (Winterwerp e Van Kesteren 2004). Caso não ocorra interferência dos fatores hidrodinâmicos, o sedimento depositado se estabiliza formando fundos consolidados (Mehta *et al.* 1989).

A acumulação de sedimentos é o destino final do transporte de partículas em suspensão nos oceanos costeiros. Esta integra condições de fornecimento de sedimentos e dispersão ao longo de um determinado intervalo de tempo, assim os gradientes espaciais das taxas de acumulação fornecem informações sobre o transporte preferencial de sedimentos e áreas de depocentros (Sommerfield *et al.*2007).

A porção da plataforma continental que recebe as águas do rio Doce é suave até uma profundidade de 20m devido ao aporte de sedimentos finos do Rio Doce (França 1979). Albino e Suguio (2010) caracterizaram o sedimento de fundo da plataforma continental interna e observaram a dominância de areia lamosa siliciclástica do rio (Figura 3). Segundo os autores, a dispersão offshore dos sedimentos do rio Doce ocorre a aproximadamente 15 km da costa onde os sedimentos fluviais passam a ser gradualmente substituídos por areias biosiliciclásticas.

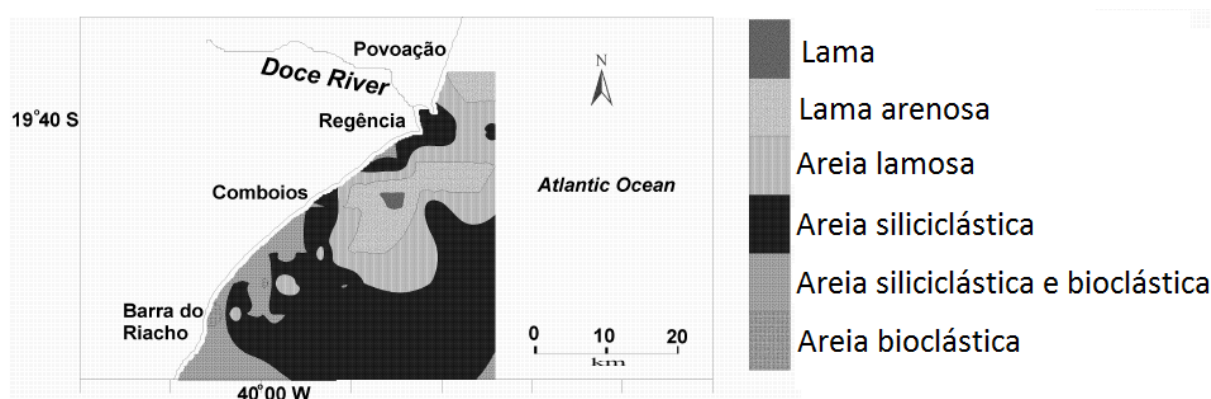


Figura 3: Faciologia dos sedimentos superficiais de fundo da Plataforma Continental Interna adjacente à foz do Rio Doce. Fonte: Albino e Suguio (2010).

1.3.2 ATIVIDADE DE ^{210}Pb E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO

Estudos sobre a taxa de sedimentação são considerados muito importantes para a compreensão da dinâmica que envolve a entrada de elementos químicos, fornecidos pelas diversas fontes nos ambientes aquáticos (Saito 2002). Nos últimos séculos a intensa atividade humana tem aumentado significativamente a taxa de sedimentação do continente para os oceanos e consequentemente o aporte de radionuclídeos (Saito *et al.*2001). Os estudos e o monitoramento dos elementos radioativos no meio ambiente são muito importantes para garantir o controle destes elementos em níveis aceitáveis aos seres vivos (Saito 1996).

Um das técnicas mais utilizadas para a estimativa do efeito antropogênico na sedimentação recente é a avaliação geocronológica por ^{210}Pb (Carvalho 1995, Gomes 2010, Raja e Hameed 2010) e a análise do comportamento desse elemento no sedimento vem sendo utilizada intensivamente na obtenção dos níveis de ocorrência de poluentes e sua variação histórica.

O ^{210}Pb e seu descendente ^{210}Po são membros da série radioativa natural do ^{238}U . Esses radionuclídeos chegam ao sedimento marinho através do aporte atmosférico, fluvial e escoamento superficial e do decaimento do precursor ^{226}Ra na coluna d'água. Os teores naturais de ^{210}Pb na atmosfera são decorrentes do decaimento de ^{222}Rn , originado pelo decaimento do ^{226}Ra presente na crosta terrestre (Figura 4). O ^{222}Rn possui meia-vida de 3,8 dias e decai para uma série de radionuclídeos de meia-vida curta até chegar ao ^{210}Pb . A transferência do ^{210}Pb produzido na atmosfera para o sedimento se dá por precipitação e como resultado o ^{210}Pb está presente em excesso em relação ao ^{226}Ra no sedimento, sendo denominado ^{210}Pb não suportado. O ^{210}Pb formado no sedimento pelo decaimento do ^{226}Ra , está em equilíbrio radioativo, com o mesmo, sendo assim denominado ^{210}Pb suportado (Raja e Hameed 2010).

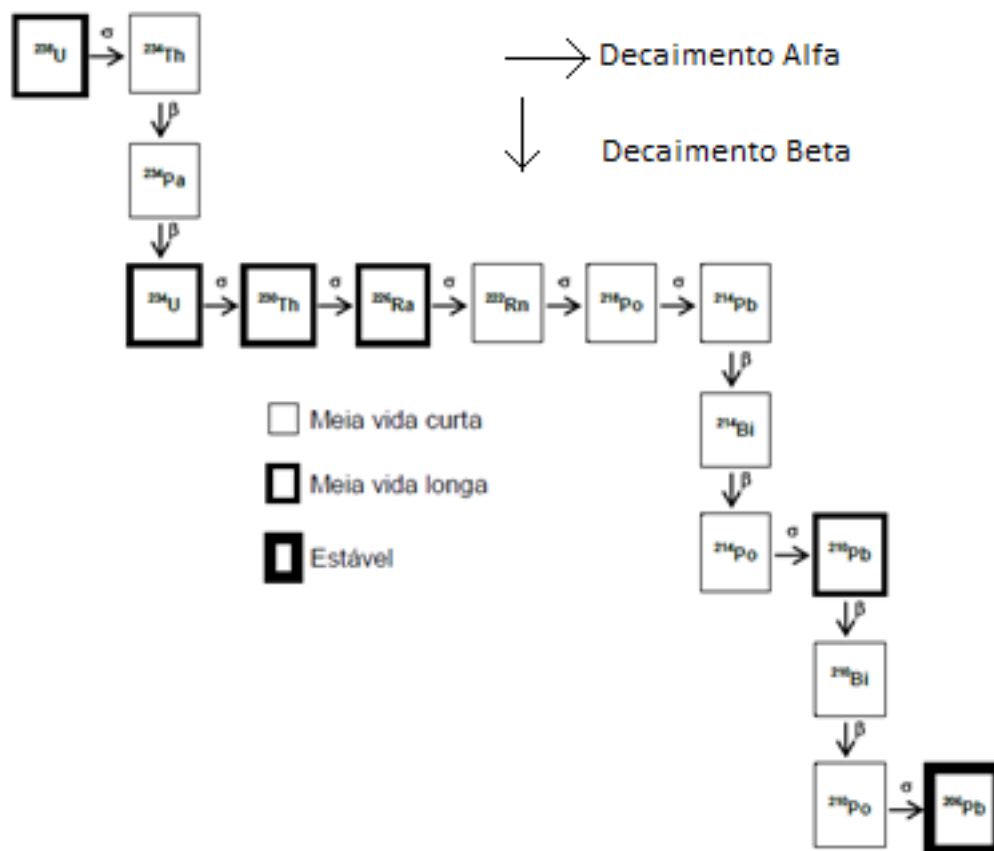


Figura 4: Decaimento da série de ^{238}U até chegar ao filho ^{210}Pb . Fonte: Gomes 2010.

A taxa de sedimentação calculada a partir da atividade do ^{210}Pb no sedimento se dá pelo comportamento do elemento ao longo da profundidade do sedimento. Em ausência de distúrbios, o sedimento recém depositado contendo ^{210}Pb permanece nas primeiras camadas e as camadas anteriores apresentam um decréscimo exponencial de ^{210}Pb não suportado. A espessura de cada camada depende diretamente da taxa de acumulação de sedimentar (Carvalho *et al.* 2011).

1.3.3 ANÁLISE DOS TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA, NUTRIENTES E RAZÃO C/N

No ambiente marinho o termo “matéria orgânica” é utilizado para todo e qualquer composto orgânico e seus teores no sedimento encontram-se diretamente relacionados aos teores de carbono orgânico que a compõe (Libes 2009). Segundo Rullkötter (2000), a concentração do carbono orgânico em sedimentos marinhos é influenciada tanto pela magnitude do aporte de matéria orgânica e pelas condições de preservação no sedimento quanto por sua diluição através da matéria mineral.

O aporte de matéria orgânica rica em nutrientes pode promover a produção primária na coluna d’água, o que leva a um eventual consumo excessivo de oxigênio e possível eutrofização das águas (Andrews *et al.* 1998). Parsons (1975) definiu como nutrientes os elementos que são envolvidos nos processos vitais dos organismos. No caso dos oceanos, os nutrientes mais importantes são o nitrogênio, o fósforo e o silício.

O abastecimento de nutrientes, principalmente nitrato e fosfato, nos oceanos é altamente dependente do escoamento continental e, portanto, águas costeiras próximas à foz de rios são particularmente ricas em relação a esses elementos (Meyers 1997) (Figura 5). O aporte continental para a região costeira traz também grandes quantidades de material de granulometria fina. Os sedimentos lamosos são propícios a adsorção de elementos por possuírem superfície com cargas negativas, o que resulta na formação de flocos que agilizam o processo de decantação do material particulado (Gordon e Goñi 2004).

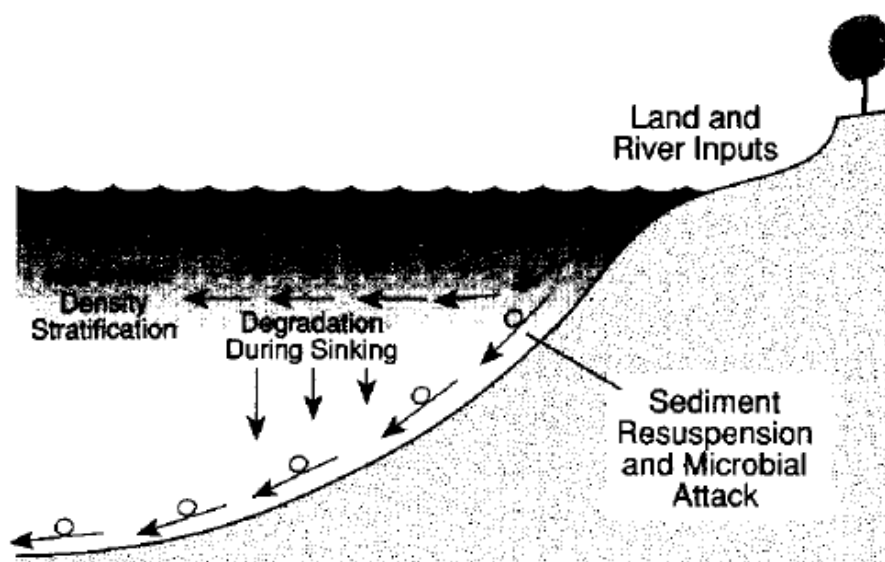


Figura 5: Principais fontes de matéria orgânica para o sedimento marinho. Fonte: Meyers 1997.

A maior fonte antropogênica de fósforo para os oceanos é a descarga de esgoto *in natura*, e por isso, é considerada uma das mais sérias e crescentes ameaças ao ambiente marinho. A maior parte da composição do fósforo particulado encontrado em sedimentos sob a influência da descarga de esgotos (68,9%) é composta por fósforo orgânico (Carreira e Wagener 1998). Em função do impacto do enriquecimento de fósforo nas águas, os Estados Unidos baniram a introdução de esgoto sem tratamento em águas costeiras em 2006 (Libes 2009).

O fósforo inorgânico apresenta como principal fonte para o ambiente marinho o escoamento superficial de áreas agrícolas onde o elemento é largamente utilizado como fertilizante. Um dos maiores problemas desse tipo de poluição é que, por ser uma fonte de poluição difusa torna-se difícil a quantificação de seu impacto ambiental (Carpenter *et al.* 1999).

Na figura 6 são identificados os maiores impactos antrópicos e a taxa de transferência do fósforo para os oceanos em âmbito mundial. É possível observar que a população humana dobrou a disponibilidade do fósforo no ambiente marinho principalmente devido a descargas de esgoto e fertilizantes (Libes 2009).

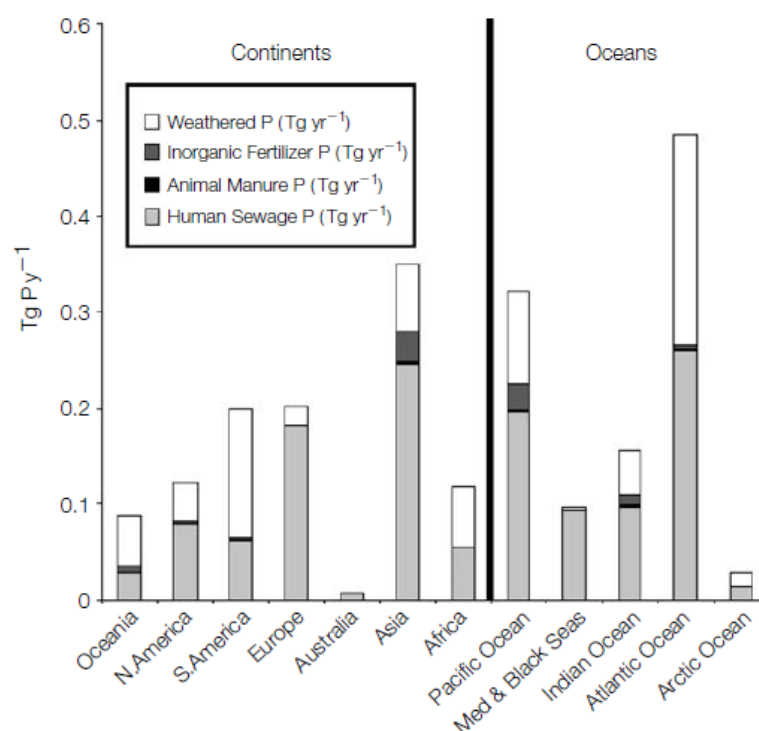


Figura 6: Exportação fluvial de fósforo inorgânico dissolvido - DIP (Tg/ano) dos continentes para as bacias oceânicas como estimado pelo *Global Nutrient Export from Watersheds Model*. O termo *weathered P* representa o aporte natural de fósforo no ambiente. Fonte: Libes 2009.

Assim como o fósforo, o nitrogênio é um importante nutriente no ambiente marinho, essencial para o desenvolvimento de atividades vitais nos organismos fitoplanctônicos. O nitrogênio alcança as águas oceânicas através do aporte fluvial e atmosférico, por difusão a partir do sedimento e pela fixação *in situ* da assimilação por organismos (Chester 2003).

A razão entre as concentrações de carbono e nitrogênio (C/N) presentes na matéria orgânica é amplamente utilizada para classificação da mesma quanto sua origem, se terrestre ou aquática (Meyers 1994, Meyers 1997, Andrews *et al.* 1998, Perdue e Koprivnjak 2007). A razão C/N depende da composição biológica da matéria orgânica original, uma vez que a matéria orgânica de origem marinha apresenta razões C/N típicas entre 4 e 10, ao passo que plantas terrestres vasculares apresentam valores maiores que 20 (Meyers 1994). Essa diferença se dá pela ausência de celulose nas algas e sua abundância em plantas vasculares.

1.3.4 CONCENTRAÇÃO DOS METAIS Pb E Cu

Os metais pesados estão entre os contaminantes mais tóxicos e persistentes do ambiente aquático, sendo designado como o grupo de elementos que ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações e apresentam densidade igual ou acima de 5 g/cm³. Os metais pesados podem ser classificados em duas categorias (Kennish 2001):

- Metais transicionais que são essenciais ao metabolismo de organismos em baixas concentrações, mas podem ser tóxicos em concentrações mais altas. Ex: Co, Cu, Fe e Mn;

- Metalóides que são aqueles metais que não são necessários às funções metabólicas e são tóxicos mesmo presente em baixas concentrações. Ex: As, Cd, Pb, Se, Sn e Hg.

Entre os elementos mais potencialmente tóxicos às plantas e aos animais estão o arsênio, o mercúrio, o cádmio, o chumbo, o cobre, o níquel e o cobalto. Dentre as características nocivas deste tipo de poluente destaca-se sua capacidade de bioacumulação e magnificação nas cadeias tróficas (Clark 2001). Dessa forma, torna-se importante a avaliação e monitoramento contínuo de suas fontes, transporte e destino.

Uma grande quantidade de metais pesados que chegam ao ambiente marinho são de origem natural e são disponibilizados através de processos geoquímicos como intemperismo de rochas, vulcanismo, lixiviamento de solos e emissões de fontes hidrotermais. Entretanto, o aporte antropogênico aumenta a carga natural e podem atingir concentrações que comprometem a qualidade do ecossistema. Entre as atividades humanas que disponibilizam maiores quantidades de metais estão: utilização de tintas anti-incrustantes, aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes, dragagem de material contaminado, disposição de artigos eletrônicos, lodos de esgotos urbanos, combustão de combustíveis fósseis e mineração e beneficiamento de metais (Kennish 2001).

Diversos pesquisadores (Fitchko e Hutchinson 1975, Kemp *et al.* 1976, Bubb e Lester 1991, Cundy *et al.* 1997, Baptista Neto *et al.* 2005, Frignani *et al.* 2005) vem destacando a poluição por metais pesados em ambiente aquáticos, realizando medidas de concentração e congregando dados sobre o impacto ambiental e suas complexas relações com as atividades econômicas.

As principais vias de entrada de metais nos oceanos são o fluxo dos rios, a deposição atmosférica e as atividades antropogênicas. O aporte fluvial de metais no ambiente marinho depende das características da bacia de drenagem e das atividades desenvolvidas nos centros urbanos situados em suas margens (Niencheski *et al.* 2008). Testemunhos sedimentares constituem ferramentas importantes na reconstrução histórica do registro de aporte industrial de contaminantes para o meio ambiente (Cundy *et al.* 1997, Nolting *et al.* 1999, Bellucci *et al.* 2002, Frignani 2005, Díaz-Ascencio *et al.* 2009, Gomes *et al.* 2009) uma vez que o sedimento é um ótimo retentor de metais.

Para classificar um ambiente aquático segundo seus níveis de poluição por metais pesados faz-se necessária a comparação entre as concentrações do metal em estudo e de um elemento conservativo abundante no ambiente. Para ser considerado conservativo, o metal não pode sofrer nenhum tipo de perda química ou física durante o processo de intemperismo ou ao longo de seu transporte e deposição (Wasserman e Wasserman 2008). Dentre os elementos considerados conservativos e utilizados no cálculo do Fator de Enriquecimento estão o Alumínio (Kemp e Thomas 1976, Díaz-Ascencio *et al.* 2009), titânio, potássio, magnésio, escândio, lítio e ferro (Baptista Neto *et al.* 2005, Pereira *et al.* 2007).

A partir do comportamento de determinado metal em relação ao elemento conservativo é possível o cálculo de um Fator de Enriquecimento (EF), o qual classifica o ambiente como poluído ou não em relação ao metal. Valores de EF próximos a 1 indicam a dominância de material litogênico, valores maiores que 1 indicam que a amostra está enriquecida com o metal em relação ao sedimento natural (Nolting *et al.* 1999). Para isso, assume-se que os fluxos de intemperismo são sempre proporcionais e as variações dadas pelas reações químicas corrigidas pela equação (Kemp *et al.* 1976):

$$EF = (Ma/Ea)/(Mb/Eb) \quad (1)$$

Onde, Ma é a concentração do metal analisado na amostra, Ea é a concentração do elemento conservativo na amostra, Mb é a concentração de metais no *background* e Eb é a concentração do elemento conservativo também no *background*.

Os valores de *background* são estabelecidos pela última camada de testemunhos profundos (sedimentos antigos, teoricamente não contaminados) ou por valores de referência conhecidos através do estudo da geologia da região (Wasserman e Wasserman 2008).

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação é constituída por cinco capítulos em que serão abordados o comportamento de diversos elementos encontrados em testemunhos coletados no delta do rio Doce e identificados como DT01 SUL e DT02 NORTE. Após a apresentação do assunto e dos objetivos, segue abaixo a estrutura da dissertação:

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO: Identificação do tema e objetivos do presente estudo além da apresentação dos *proxies* utilizados;

Capítulo 2 – METODOLOGIA: Apresentação dos métodos utilizados para a obtenção dos resultados;

Capítulo 3 – RESULTADOS: Conjunto de resultados do comportamento dos *proxies* analisados no estudo;

Capítulo 4 – DISCUSSÃO: Interpretação dos resultados segundo o padrão de deposição observado para o delta do Rio Doce;

Capítulo 5 – CONCLUSÃO: Resposta final ao objetivo apresentado e considerações finais acerca de trabalhos futuros que complementariam o presente estudo.

Cabe ressaltar que a pesquisa está inserida no Projeto Ciências do Mar - “Sedimentos finos em estuários e plataforma continental: formação e dinâmica de depósitos lamosos”, financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

Com objetivo de identificar padrões de sedimentação na plataforma interna em frente a foz do rio Doce e a partir de testemunhos coletados na Plataforma Continental próximo a região da desembocadura do rio Doce, foram realizadas diversas análises sedimentológicas e geoquímicas tais como: granulometria, teor de água, porosidade, densidade, teores de matéria orgânica e carbono orgânico, teores de carbono e nitrogênio totais, concentração de metais (Pb, Cu e Fe), taxa de sedimentação através da atividade de ^{210}Pb e análises granulométricas e físico-químicas (granulometria, teor de água e densidade).

2.1 Coleta dos testemunhos

Foram coletados quatro testemunhos em dois pontos próximos à desembocadura do rio Doce (Figura 7). O testemunho coletado no ponto ao Sul da desembocadura (420866.4321 7827253.19 UTM) foi denominado DT01 SUL e sua respectiva réplica, DT01R SUL. O testemunho coletado no ponto ao norte da desembocadura (416647.8161 7822368.477 UTM) foi denominado DT02 NORTE e sua réplica, DT02R NORTE. Ambos os testemunhos foram coletados a uma profundidade de cerca de 15 metros.

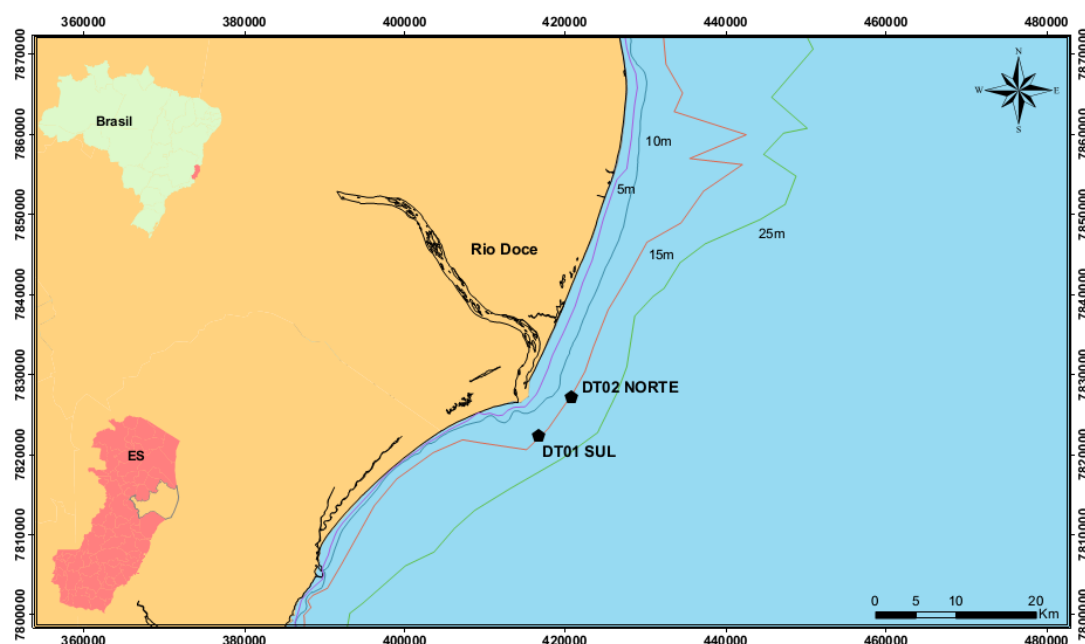


Figura 7: Localização dos pontos amostrais de coleta dos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE e de suas respectivas réplicas.

Os testemunhos supra citados foram coletados à percussão com o posicionamento determinado a partir de análise sismoestratigráfica pretérita (Godinho 2012) em áreas de extensos depósitos lamosos, uma vez que o sedimento lamoso é conhecido como agregador de poluentes.

2.2 Granulometria e características físico-químicas

Para descrição visual, os testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE foram fotografados a cores em seções com recobrimento (*overlap*). A subamostragem foi então realizada em camadas de 1 em 1 cm para análises de granulometria em um granulômetro a laser Malvern - Mastersizer 2000. Em cada amostra foi adicionado peróxido de oxigênio (H_2O_2) para queima da matéria orgânica uma vez que o material poderia gerar erros nos teores granulométricos.

Para análise do teor de água, os testemunhos réplica foram fatiados em camadas de 3 cm e a cada intervalo foi retirada uma porção de 1 grama e levada à estufa por 24 horas. O teor de água de cada amostra foi calculado a partir da equação:

$$\% \text{ Teor de } H_2O = \frac{\text{Massa da água}}{\text{Massa do sedimento seco}} \times 100 \quad (2)$$

A porosidade foi calculada usando a equação (Baskaran e Naidu 1995):

$$\phi = \frac{(W - D)}{BV} \quad (3)$$

Em que ϕ é a porosidade, W é o peso úmido, D é o peso seco e BV é o volume bruto. O volume bruto por sua vez é dado por (Baskaran e Naidu 1995):

$$BV = W + \left[\frac{1}{\rho_{sol}} - 1 \right] D \quad (4)$$

A densidade pode então ser calculada a partir do peso úmido da amostra e do volume bruto calculado:

$$\rho = \frac{\text{Peso úmido}}{BV} \quad (5)$$

Em que ρ é a densidade da amostra.

Para os primeiros 5 cm da réplica DT01R SUL, entretanto, não foi possível nenhuma análise pois o material era fluido e não permitiu a preservação das camadas sedimentares.

2.3 Atividade de ^{210}Pb e taxa de sedimentação

As análises de atividade do ^{210}Pb e taxa de sedimentação foram realizadas a partir dos testemunhos réplica, DT01R SUL e DT02R NORTE na Divisão de Análise Ambiental (DIAMB) do Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN) em Pernambuco.

Cada testemunho foi subamostrado em camadas de 3 cm, a cada amostra foram calculados o peso úmido e o teor de água. Alíquotas de 5 g de sedimento seco de cada amostra foram dissolvidos com $\text{HNO}_3\text{--HF}$ para análise de ^{210}Pb . O conteúdo de ^{210}Pb foi calculado através do produto de seu decaimento, o ^{210}Bi . A taxa de sedimentação de cada camada individualmente foi determinada pela aplicação do método da taxa constante de aporte (Valentim 1995).

2.4 Teores de matéria orgânica, nutrientes e razão C/N

As análises de carbono orgânico total e matéria orgânica total, nitrogênio total, fósforo total e fósforo inorgânico foram realizadas no Lagemar (Laboratório de Geologia Marinha - UFF) em parceria com o Labogeo (Laboratório de Oceanografia Geológica – UFES) ao longo dos dois testemunhos, DT01 SUL e DT02 NORTE coletados da desembocadura do Rio Doce (ES).

O conteúdo de carbono orgânico e matéria orgânica nas amostras foram determinados a cada 5 cm dos testemunhos pelo método de titulação segundo metodologia apresentada em EMBRAPA (1997).

Para análise do carbono e nitrogênio totais, utilizou-se o equipamento Perkin-Elmer CHNS/O modelo 2400, no modo de operação CHN. Para os controles analítico e instrumental, foram utilizados materiais de referência, acetanilida e cistina. A pesagem dos materiais de referência acetanilida, (1,5– 2,0 mg) e sedimentos foi realizada em cápsulas de estanho. Pesou-se entre 2,5 e 3,0 mg de sedimentos e, após, as cápsulas contendo amostras foram dispostas sobre a superfície de uma placa de Petri e fechadas.

Fósforo total e inorgânico foram calculados a partir do espectrômetro modelo Perkin Elmer precisely. – Lambda 25 localizado no Lagemar. A maior parte dos compostos contendo fósforo orgânico não reage com molibdênio, o qual é a base do método de determinação do fosfato por espectrofotometria. Assim, a concentração de fósforo orgânico é resultado da medição indireta pela diferença entre a concentração de fósforo total e a concentração de fósforo inorgânico (Worsfold *et al.* 2008). As análises foram realizadas a cada 1 cm nos 10 primeiros centímetros e a cada 10 cm a partir daí.

2.5 Análise de metais pesados

As concentrações de metais pesados nos testemunhos foram adquiridas através da utilização do espectrômetro de absorção atômica modelo Perkin Elmer Precisely – Aanalyst 800 também em colaboração com o Lagemar (Laboratório de Geologia Marinha - UFF), onde foram realizadas as análises. Os metais analisados foram Cu, Pb e Fe, este último utilizado como elemento normalizador. As análises foram realizadas a cada 1 cm nos primeiros 10 centímetros e de 10 em 10 cm no restante do testemunho.

O fator de enriquecimento das amostras foi calculado segundo Kemp *et al.* (1976), utilizando-se como elemento conservativo o Fe. Neste trabalho foi utilizada a classificação de Hankanson (1980) que propõe que valores de EF menores que 1 indicam baixa contaminação, valores entre 1 e 3 contaminação moderada, valores entre 3 e 6 contaminação considerável e valores maiores que 6 alta contaminação

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS

Neste capítulo segue a descrição dos resultados encontrados com as análises físicas e químicas dos sedimentos dos testemunhos.

3.1 Granulometria

DT01 SUL apresenta predominância de sedimentos finos em toda a extensão do testemunho (médias de 71% de silte, 6% de argila e 23% de areia), entretanto, apresenta camadas estratigráficas com teores de areia da ordem de 50% que acompanham uma diminuição nos teores de silte e argila. Esse padrão aparece nas últimas camadas do testemunho e no intervalo entre as profundidades 25 a 40 cm. O oposto também acontece e os intervalos que apresentam maiores teores de sedimentos finos são os que possuem menores teores de areia (Figura 8).

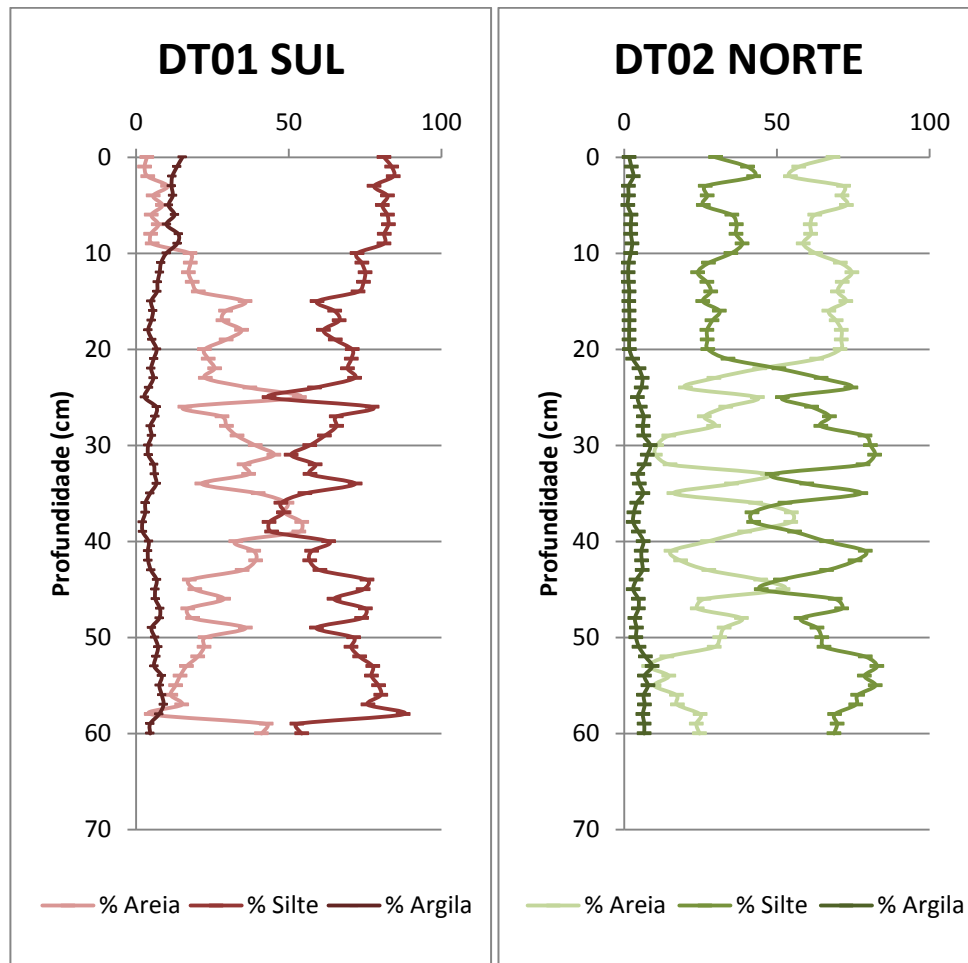


Figura 8: Descrição granulométrica dos teores de areia, silte e argila ao longo dos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.

O padrão de deposição do sedimento em DT02 NORTE é distinto e apresenta dois momentos visíveis. Os primeiros 20 cm apresentam maiores teores de areia e menores teores de silte e argila (médias de 70% de areia, 28% de silte e 2% de argila) e a partir desse intervalo o padrão se torna oposto, com aumento nos teores de silte e argila (médias de 26% de areia, 68% de silte e 6% de argila).

3.2 Teor de água, densidade e porosidade

Os teores de água foram calculados para os testemunhos réplica, DT01R SUL e DT02R NORTE. É possível observar a ausência das camadas superficiais em DT01R SUL em função da impossibilidade de análise devido a fluidez do sedimento. Dessa forma, uma análise desta camada poderia inferir em erros, uma vez que não havia como afirmar que não teria ocorrido mistura dos estratos.

Os primeiros 20 cm dos testemunhos apresentaram maiores discrepâncias, essa camada com características particulares já foi observada em DT02 para os valores de granulometria na seção anterior. Os teores de água e porosidade nos primeiros 20 cm foram maiores para DT01 SUL (médias de 179% e 0,81, respectivamente) e os menores para DT02 NORTE (médias de 46% e 0,53, respectivamente), assim como os valores de densidade foram menores para DT01 SUL (média de 1,27) e maiores para DT02 NORTE (média de 1,68) no mesmo intervalo.

É possível observar que os valores de teor de água, densidade e porosidade apresentam comportamentos compatíveis. Os maiores teores de água indicam maior porosidade no sedimento e consequente menor densidade e é o que ocorre nas camadas superficiais onde o sedimento ainda não sofreu alto grau de compactação (Figura 9). As camadas mais profundas nos testemunhos apresentam características opostas com baixos teores de água, baixa porosidade e maiores densidades.

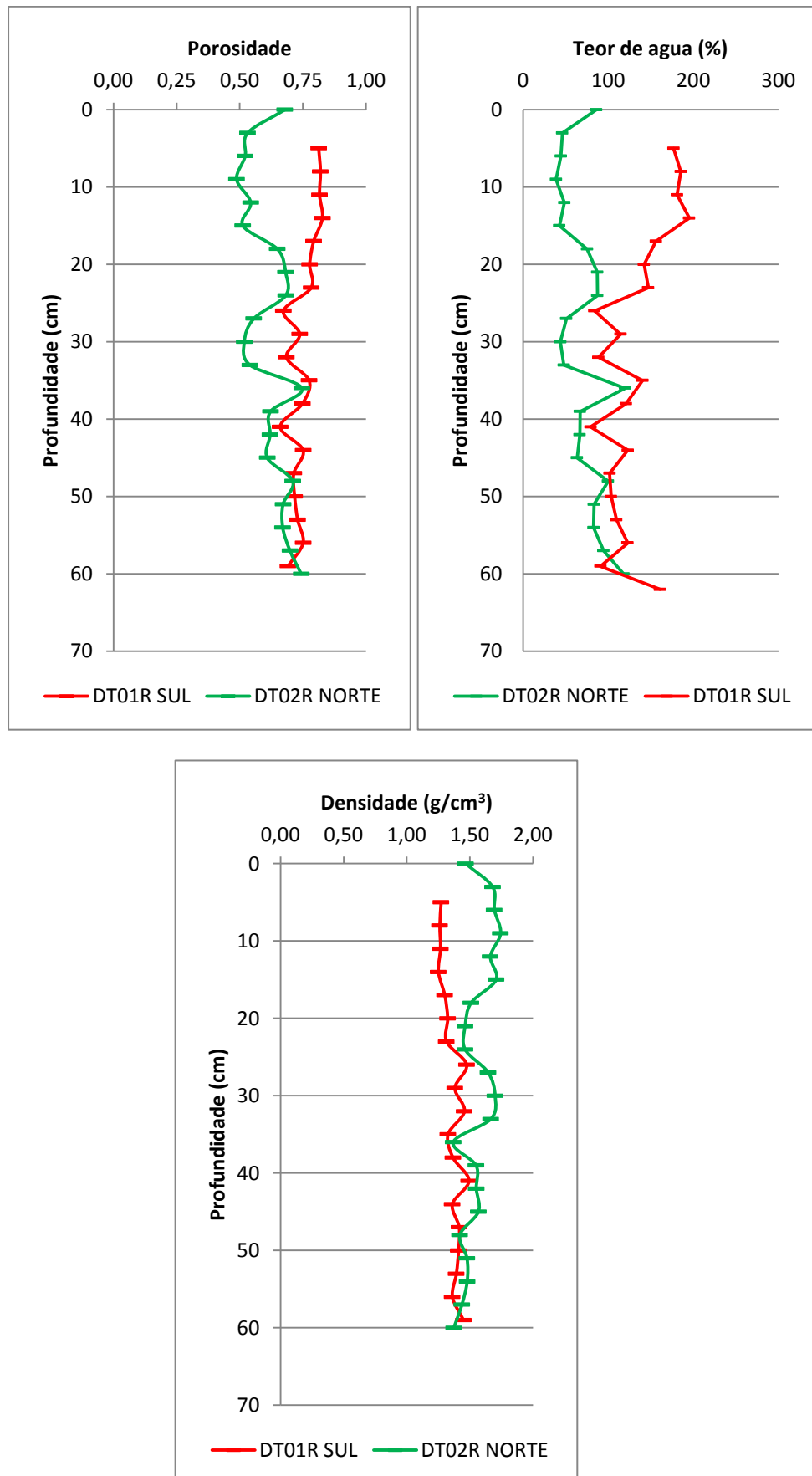


Figura 9: Teor de água (%), Densidade (g/cm³) e Porosidade em DT01R SUL e DT02R NORTE.

3.3 Atividade de ^{210}Pb e taxa de sedimentação

As análises de atividade de ^{210}Pb foram realizadas nos testemunhos réplica. O testemunho DT01R SUL apresentou os maiores de atividade de ^{210}Pb (70,22 a 175,21Bq/Kg) em relação a DT02R NORTE (32,01 a 109,34Bq/Kg). As maiores concentrações de atividade de ^{210}Pb são encontradas em DT01 SUL entre as profundidades de 35 e 40 cm do testemunho (Figura 10).

Em DT01R SUL é esperado um aumento em superfície nos valores da atividade como foi observado em DT02R NORTE, entretanto, o material na superfície do primeiro testemunho era extremamente fluido impossibilitando a amostragem dos primeiros 5 cm, como citado anteriormente.

Em DT02R NORTE a atividade de ^{210}Pb ao longo do testemunho apresenta poucas variações (média de 51,87 mBq/g) com um aumento significativo nas primeiras camadas do testemunho (média de 103,70 mBq/g). Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade do radionuclídeo no ambiente durante a sedimentação recente na foz do Rio Doce.

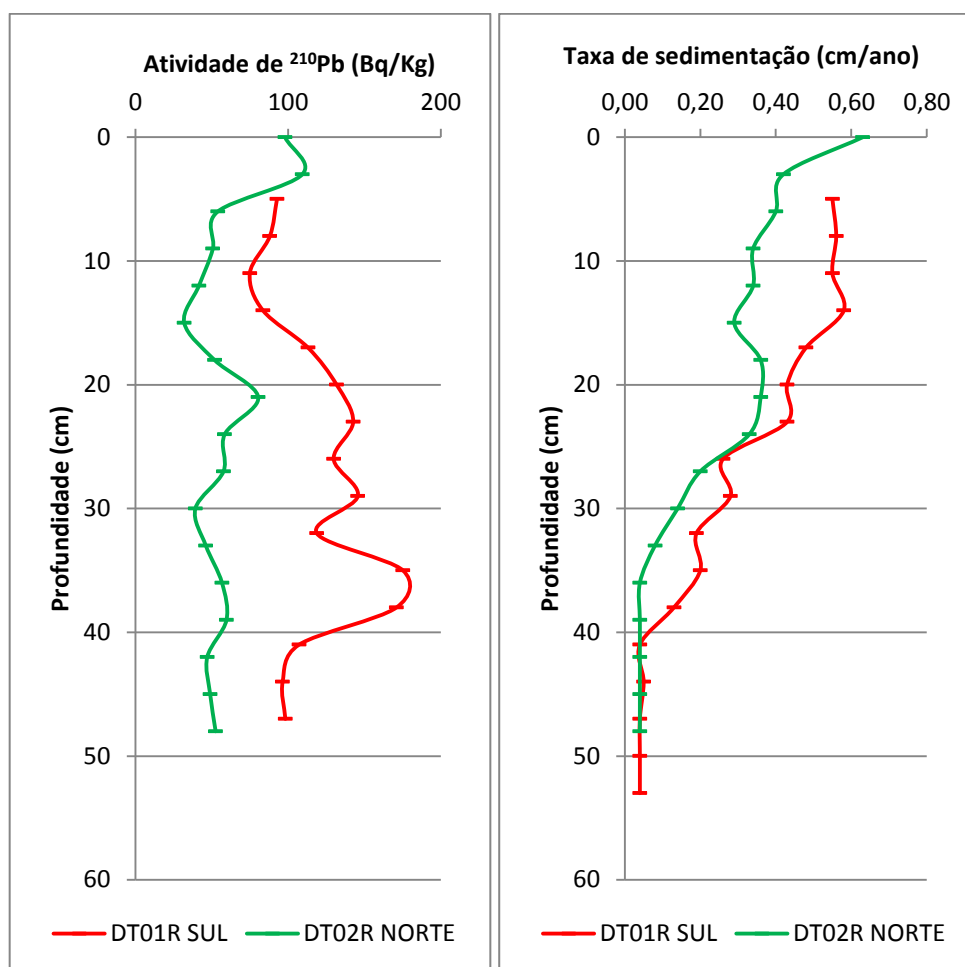


Figura 10: Atividade do ^{210}Pb e Taxa de sedimentação nos testemunhos DT01R SUL e DT02R NORTE coletados na plataforma continental interna adjacente à foz do Rio Doce.

A taxa de sedimentação foi calculada a partir da atividade do ^{210}Pb ao longo das camadas sedimentares. O cálculo só é possível em presença do ^{210}Pb em excesso e portanto, fica restrito as camadas superiores do testemunho.

No presente estudo as taxas de sedimentação puderam ser calculadas em média para os primeiros 40 cm de profundidade. As taxas foram maiores para DT01 SUL o que já era esperado uma vez que os valores de atividade de ^{210}Pb também foram maiores para este testemunho. As médias nas taxas de sedimentação dos testemunhos foram de 0,43 e 0,34 cm/ano para DT01R SUL e DT02R NORTE, respectivamente.

3.4 Teores de matéria orgânica e carbono orgânico

As concentrações de matéria orgânica foram calculadas a partir dos teores de carbono orgânico presentes na amostra, portanto, os dois elementos apresentam mesmo comportamento ao longo dos testemunhos.

Entre os dois testemunhos coletados, o DT02 NORTE apresentou os maiores valores de carbono orgânico total e matéria orgânica total em relação ao DT01 SUL (Figura 11). O testemunho DT01 SUL apresentou uma variação de 1.9 a 2.5% de COT e de 3.2 a 4.2 % de MOT, já as variações para DT02 NORTE foram de 2.3 a 4.1 % e 4 a 7.1, respectivamente para COT e MOT. Apesar dos maiores valores encontrados em DT02 NORTE, as médias para COT e MOT foram próximas sendo de 2.38 e 4.07% para DT01 SUL e de 2.50 e 4.31% para DT02 NORTE, respectivamente.

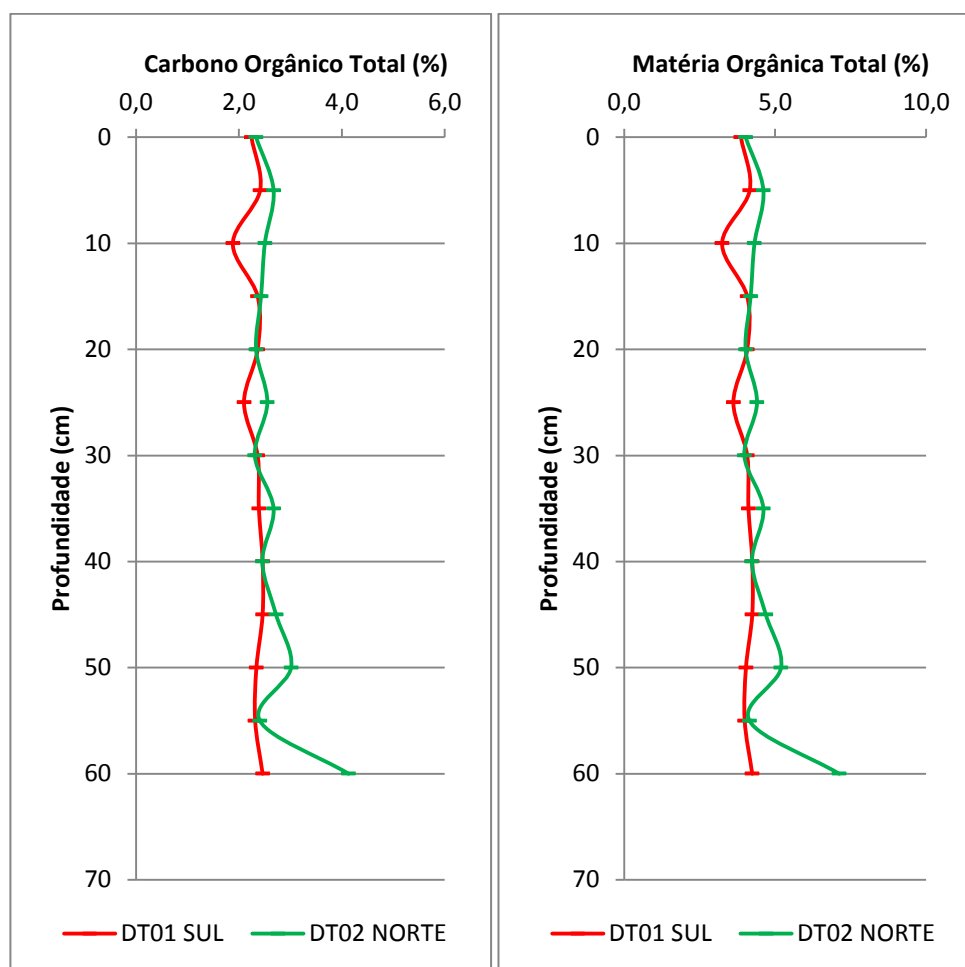


Figura 11: Variações nos teores de matéria orgânica total (MOT) nos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.

3.5 Nutrientes e razão C/N

Os resultados para os teores de fósforo orgânico (FO), inorgânico (FI) e total (FT), foram calculados nos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE (Figura 12). Para o testemunho DT01 SUL as concentrações de fósforo variaram entre 0,07 e 0,14mg/g com média de 0,10 mg/g para FI, entre 0,14 e 0,25 mg/g com média de 0,19 mg/g para FO e entre 0,24 e 0,35 mg/g com média de 0,28 mg/g para FT. Para DT02 NORTE as concentrações variaram entre 0,02 e 0,12 mg/g com média de 0,06 mg/g para FI, entre 0,03 e 0,13 mg/g com média de 0,08 mg/g para FO e entre 0,08 e 0,23 mg/g com média de 0,14 mg/g.

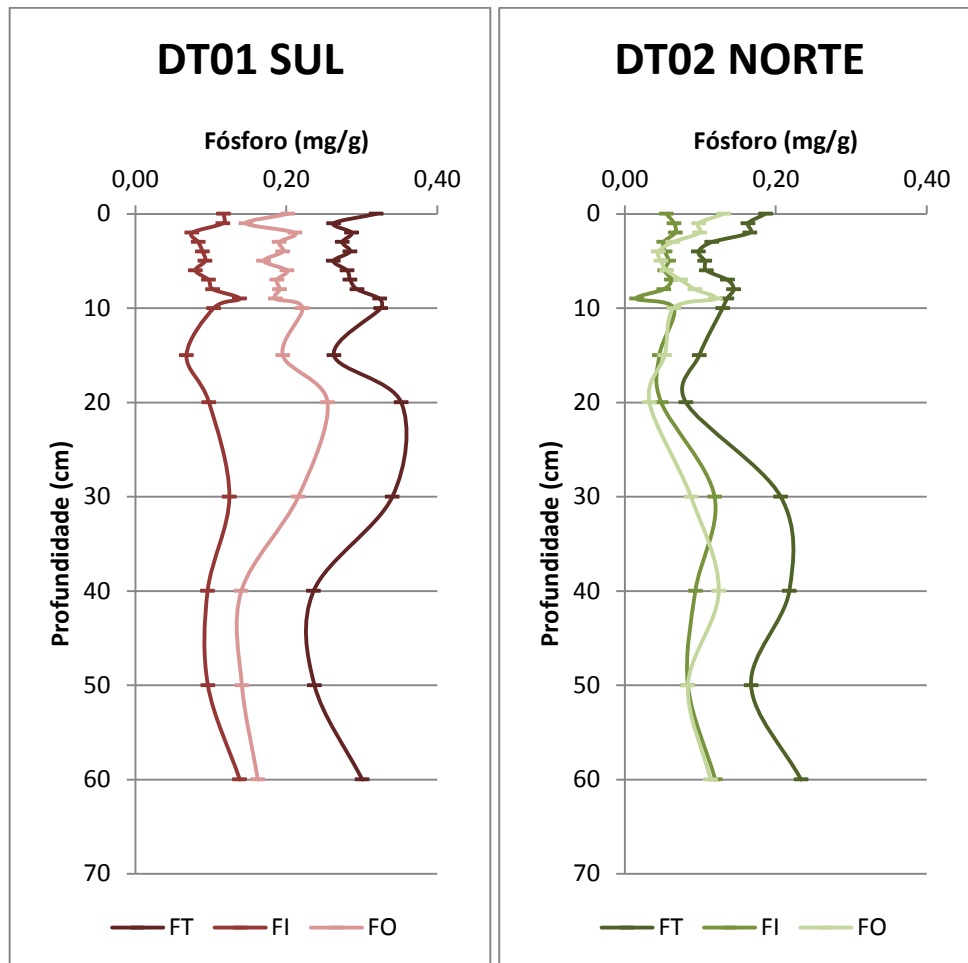


Figura 12: Teor de fósforo total (PT), fósforo inorgânico (PI) e fósforo orgânico (PO) nos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.

Os teores de nitrogênio variaram entre 0,12 e 0,22 para DT01 SUL com média de 0,16 e entre 0,10 e 0,25 para DT02 NORTE com média de 0,17. Os teores de carbono total variaram entre 1,39 e 3,05 para DT01 SUL com média de 2,31 e entre 0,54 e 1,97 para DT02 NORTE com média de 1,39.

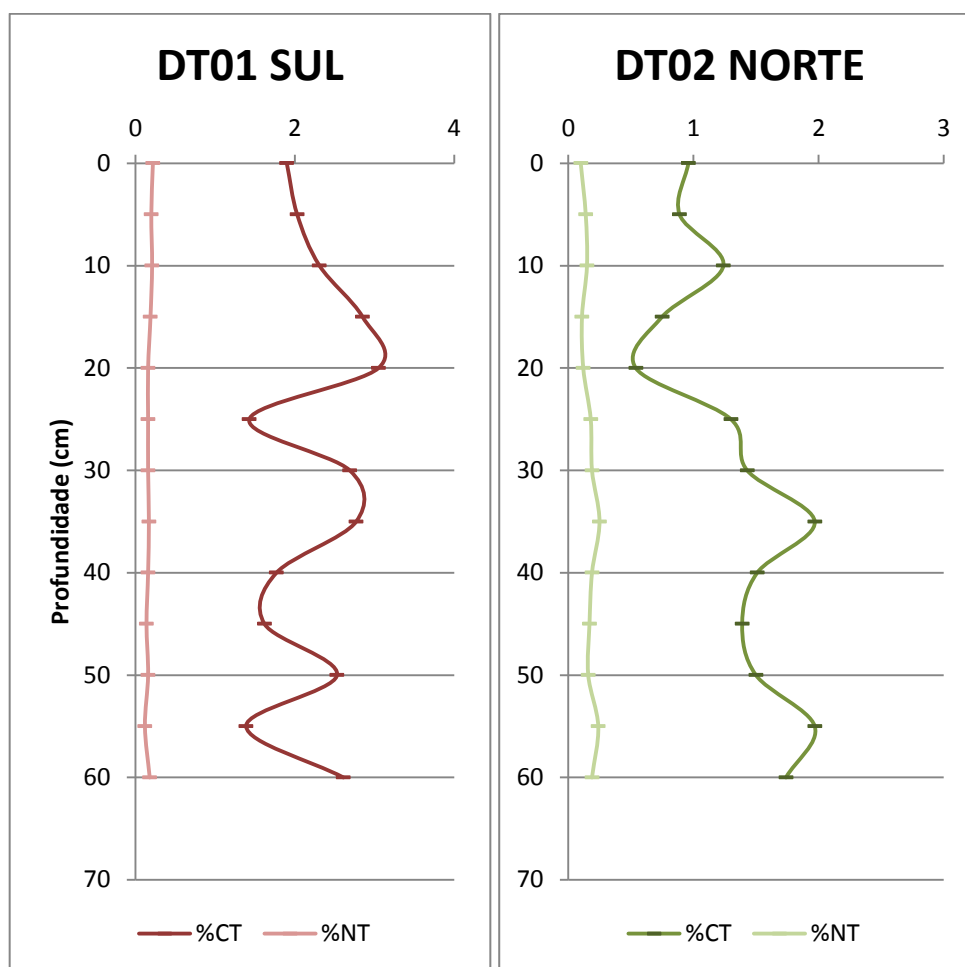


Figura 13: Teores de carbono total (%C) e nitrogênio total (%N) nos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.

Os testemunhos apresentam comportamento semelhante, entretanto, DT02 NORTE apresenta uma tendência na diminuição dos teores de NT e CT em direção às camadas superficiais, ao passo que os teores de NT em DT01 SUL apresentam um aumento nas camadas superficiais (0-10 cm) (Figura 14).

Em DT01 SUL os teores de CT também foram maiores em relação aos teores de NT (médias de 2,22 e de 1,17%, respectivamente) indicando uma influência importante da matéria orgânica de origem terrestre. No entanto, os valores de razão C/N para o testemunho DT01 SUL variaram entre 8,64 e 19,06 com média de 11,58 e o comportamento da curva de razão C/N para o testemunho DT01 SUL indica que a composição dos nutrientes no sedimento analisado não permite uma classificação exata quanto a origem da matéria orgânica. Segundo Meyers (1994), a curva encontra-se na faixa de transição entre os elementos de origem marinha ($4 < C/N < 10$) e de origem terrestre ($C/N > 20$).

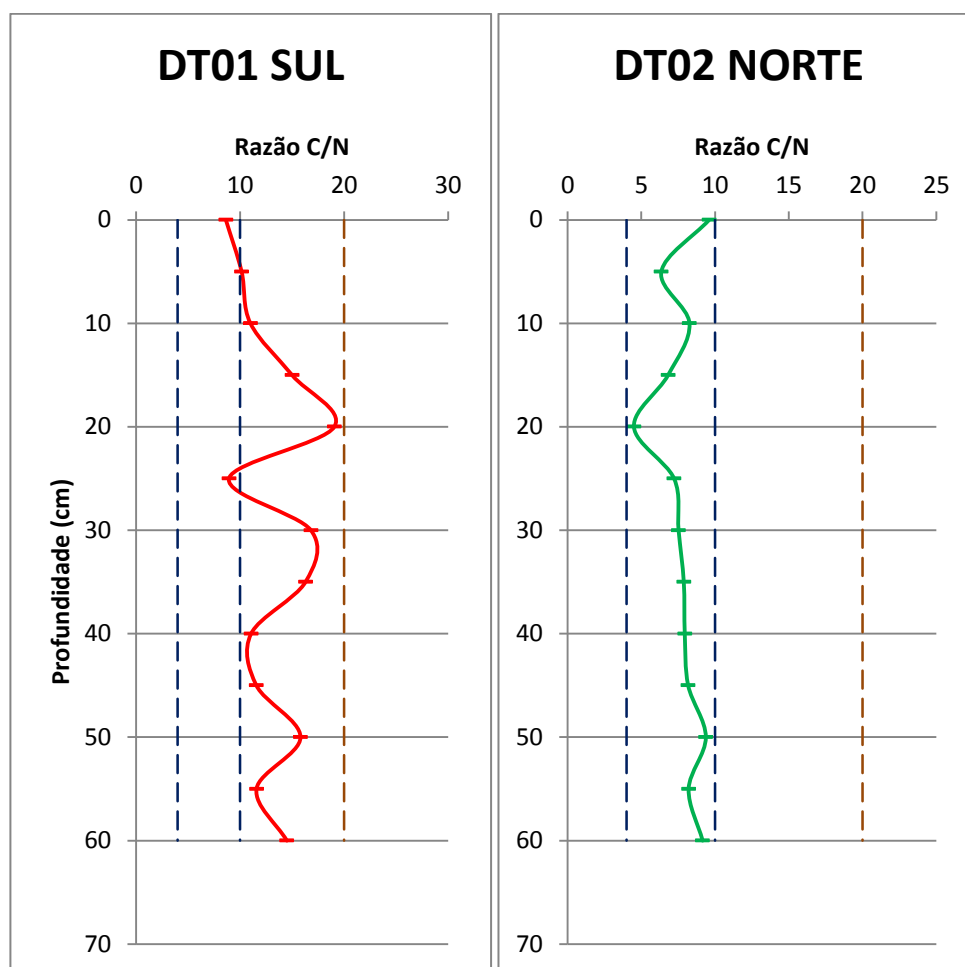


Figura 14: Razão C/N calculadas para os testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.

Os valores de razão C/N para o testemunho DT02 NORTE variaram entre 4,50 e 9,60 com média de 7,95. O comportamento da curva das razões C/N para o testemunho DT02 NORTE foi diferente. Toda a faixa de valores encontra-se no intervalo estabelecido por Meyers (1994) para a matéria orgânica de origem marinha ($4 < C/N < 10$), indicando a importante influência da produção autóctone na plataforma continental.

3.6 Concentração dos metais Pb e Cu e índice de enriquecimento

A distribuição de Cu nos testemunhos da foz do Rio Doce obteve as maiores concentrações em DT01 SUL nas profundidades superficiais (0-10 cm), o que caracteriza um maior aporte nas camadas de sedimentação recente. Em geral, as concentrações em DT01 SUL variaram entre 4,372 e 9,942 $\mu\text{g/g}$. Em DT02 NORTE as maiores concentrações foram encontradas nos centímetros finais do testemunho, próximos à base (Figura 15) e as concentrações variaram de 3,024 a 8,664 $\mu\text{g/g}$.

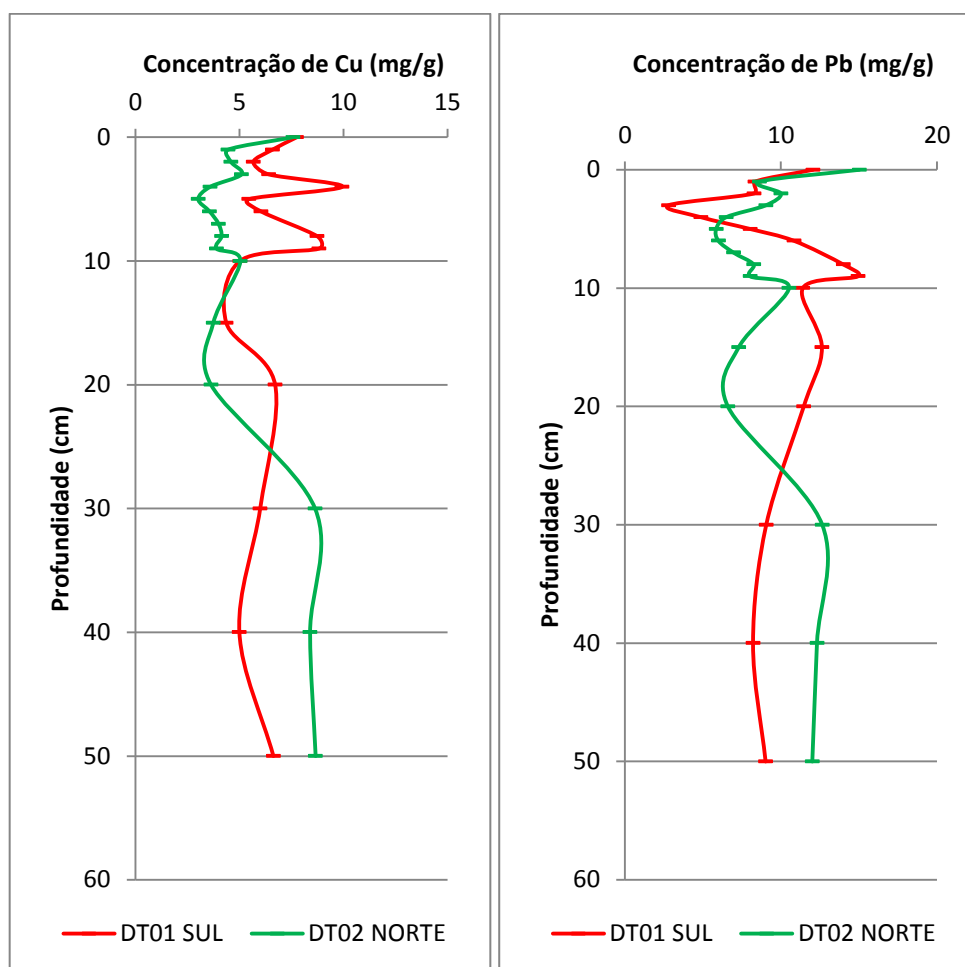


Figura 15: Concentrações de Cu e Pb nos testemunhos coletados na plataforma continental adjacente à foz do Rio Doce.

As concentrações de Pb em ambos os testemunhos (DT01 SUL e DT02 NORTE) foram ligeiramente maiores do que as encontradas para Cu. Mais uma vez, os maiores valores foram encontrados em DT01 SUL, principalmente em subsuperfície (10-15 cm). Os maiores valores para DT02 NORTE também foram próximos à base, entretanto ambos os testemunhos apresentaram picos no primeiro centímetro dos testemunhos (12,061 e 15,024 $\mu\text{g/g}$, respectivamente para DT01 SUL e DT02 NORTE) (Figura 16).

Os valores de EF para Cu foram menores quando comparados com o Pb. Em DT01 SUL os valores nos primeiros centímetros foram maiores que uma unidade representando um maior impacto no sedimento recente (0,6 – 2,6). Em DT02 NORTE o índice ficou próximo a 1 representando um baixo grau de poluição para o metal (0,4 – 1,2).

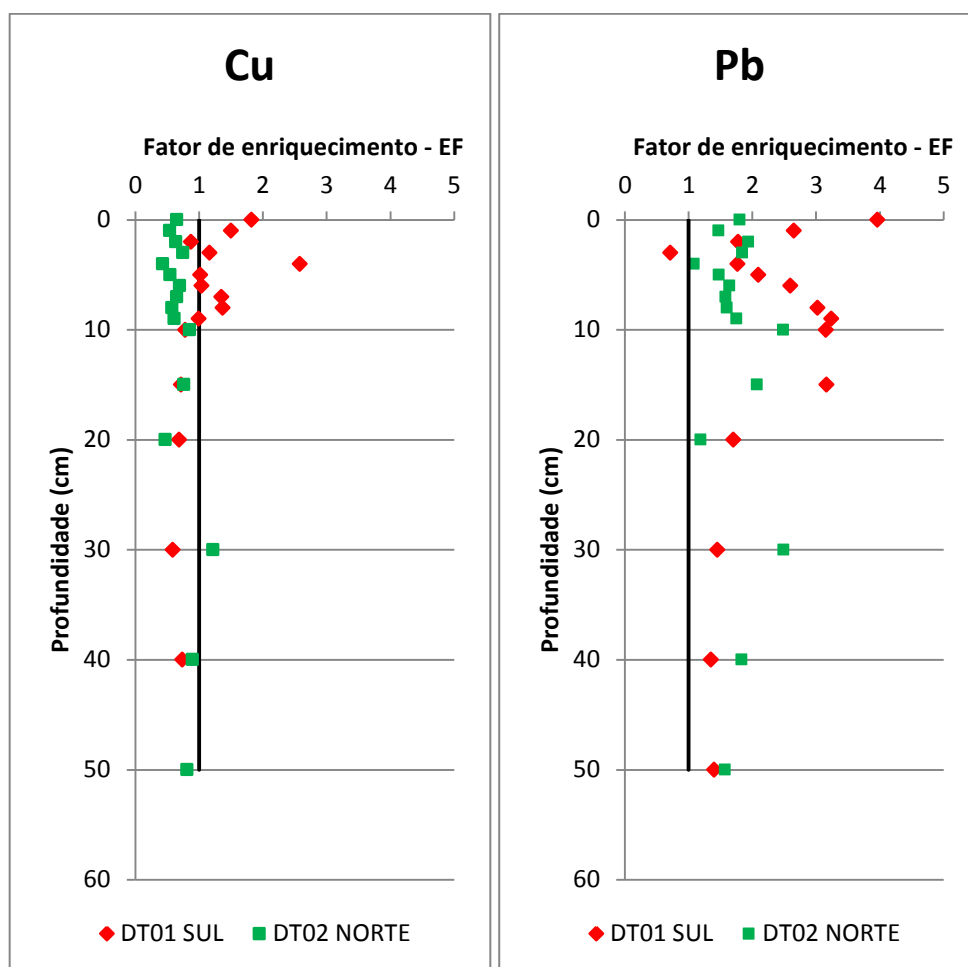


Figura 16: Índice de enriquecimento (EF) para os metais Cu e Pb encontrados em testemunhos próximos à foz do Rio Doce.

Os dois testemunhos apresentaram valores de EF maiores que uma unidade para Pb, o que caracteriza um ambiente impactado em relação ao metal (Figura 19). Os valores encontrados foram maiores em DT01 SUL (0,7 – 4) em relação a DT02 NORTE (1,1 – 2,5).

CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO

Esse capítulo visa discutir os resultados apresentados no capítulo anterior com vistas a corroborar com a hipótese de tendência deposicional do sedimento fino em direção ao Sul da foz do rio Doce. Dessa forma as análises dos resultados são apresentadas a seguir

4.1 Características granulométricas e de taxa de sedimentação

O regime hidrológico do rio Doce é bem definido, sendo marcado por períodos de cheia e seca. A vazão do rio apresenta entre o período de dezembro a março os maiores valores médios de vazão (entre 1500 e 3000 m³/s) e entre o período de maio e outubro os menores valores (entre 300 e 500 m³/s) (Campos 2011). Ainda assim, Coelho (2007) constatou em estudos de séries históricas de vazões no rio Doce, o aumento no número de vazões mensais abaixo da média e atribuiu o efeito à ação do homem no processo de ocupação e exploração do território. Vazões mais baixas tendem a depositar maior quantidade de sedimentos finos próximo a desembocadura fluvial.

Avilés e Niell (2005) encontraram uma característica sazonal na distribuição granulométrica no estuário do rio Palmones devido a existência de chuvas intensas durante o outono e inverno. Segundo os autores, o aumento da descarga fluvial foi considerado o principal fator responsável por essa variação. No verão a porcentagem de silte e argila apresentou um valor de 59% com uma redução consecutiva alcançando um mínimo de 13% no inverno. Assim os estratos mais arenosos corresponderiam a um período de maior energia fluvial (chuvas) e o lamoso de menor (seca). Assim, a diminuição dos teores de lama (silte + argila) indicaria um aumento na vazão do rio, uma vez que vazões mais intensas seriam responsáveis pelo transporte dos sedimentos finos para regiões mais afastadas e um maior aporte de areia. Por sua vez, as vazões menores seriam menos eficientes em transportar sedimentos arenosos e proporcionariam a maior deposição de sedimentos finos.

O padrão de predominância de sedimentos finos foi observado nos resultados de granulometria para DT01 SUL. No entanto, como já apresentado anteriormente, observa-se uma variação estratigráficas com alternância de domínio de areia em alguns momentos e de lama em outros para os dois testemunhos.

Estes eventos alternados podem estar ligados a períodos de menor e maior vazão do rio. Além da alternância na vazão do rio, esse comportamento pode ainda ter sido influenciado por variações no padrão de circulação local em função de momentos de maior energia, que proporcionaria uma maior competência de transporte de sedimento, e a momentos de menor energia, que possibilitariam a deposição do material mais fino.

O conjunto de características físico-químicas do sedimento superficial do testemunho DT01R SUL é típico de um material de deposição recente, com baixo grau de compactação. Essa característica é identificada devido aos altos teores de água e porosidade que indicam que a água dos poros entre as partículas do sedimento ainda não foram expulsas no processo de acumulação acarretando uma baixa densidade do material.

A maior densidade e o baixo teor de água e porosidade nos primeiros centímetros de DT02 NORTE identifica uma maior compactação do sedimento indicando um processo de acumulação mais avançado em relação a DT01 SUL.

Outro ponto a destacar é o comportamento distinto de DT02 NORTE (Figura 9) onde a partir de aproximadamente 20 cm de profundidade em direção ao topo do testemunho ocorre uma alteração do comportamento. A porção do testemunho de 20 cm até a base apresenta predominância de finos podendo indicar uma forte influência dos sedimentos fluviais, entretanto, os primeiros 20 cm de DT02 NORTE apresentam predominância de sedimentos arenosos. Essa mudança brusca no comportamento da granulometria para o testemunho indica uma alteração da direção do transporte de finos pelo rio. Coelho (2007) evidenciou mudanças aceleradas e substanciais nas formas do canal principal e na linha de costa adjacente do Rio Doce através da análise de imagens de satélite da calha principal do rio, revelando uma dinâmica geomorfológica ativa que poderia alterar a direção do transporte na região próxima a desembocadura.

Como citado no capítulo anterior foi observado um pacote de lama fluida no DT01 SUL do topo do testemunho até aproximadamente 5cm de profundidade. Esse pacote já havia sido observado por Godinho (2012) na plataforma continental interna do rio Doce através de imagens sísmicas. O registro sísmico apresentou uma camada transparente superficial e a interpretação da autora foi corroborada com a amostragem de sedimentos superficiais, onde se observou valores de densidade entre 1,07 e 1,36 g/cm³. Segundo a autora, o sinal de baixa reflexão corresponde a depósitos recentes de lama. Depósitos esses

encontrados bem próximo à desembocadura fluvial, onde ocorre maior influência da descarga do rio Doce. Vários trabalhos realizados ao longo da costa brasileira descrevem a presença de lama inconsolidada em plataformas geralmente associada a desembocaduras de grandes rios com grande aporte sedimentar (Kineke e Sternberg 1995, Kineke *et al.* 1995, Veiga *et al.* 2006).

Próximo à região de coleta de DT02 NORTE, Godinho (2012) encontrou um sinal de baixa penetração associado a áreas de transição entre fundos lamosos e arenosos. Segundo a autora, o fundo era constituído de sedimentos fluviais recentes (evidenciadas pela presença de mica) associados aos processos hidrodinâmicos como a ação das correntes de deriva litorânea. O fundo associado era considerado do tipo consolidado devido aos altos valores de densidade encontrados (entre 1,5 e 1,8 g/cm³).

Os maiores valores de atividade de ²¹⁰Pb em DT01 SUL em relação a DT02 NORTE também são indicativos da deposição preferencial do sedimento fluvial em direção Sul uma vez que, admitindo-se uma região sem o aporte de rios, ambos os testemunhos apresentariam comportamento semelhante em relação ao radionuclídeo cuja fonte principal seria o aporte atmosférico uma vez que a proximidade geográfica entre os testemunhos era grande (cerca de apenas 5 km) (Figura 11). A diferença nos valores de atividade de ²¹⁰Pb é então atribuída ao aporte fluvial.

Regiões que apresentam altos valores de atividade de ²¹⁰Pb encontram-se diretamente influenciadas por aporte fluvial uma vez que esta é uma importante fonte do elemento para os oceanos devido ao intemperismo de rochas presentes nos continentes. O estudo realizado por Not *et al.* (2008) no Oceano Ártico apresentou valores bem mais baixos da atividade de ²¹⁰Pb devido ao distanciamento das massas continentais e consequentemente ao baixo aporte sedimentar na região (Tabela 1).

Tabela 1: Estudos com atividade do ^{210}Pb em testemunhos sedimentares.

Local	^{210}Pb (Bq/Kg)	Profundidade do testemunho (cm)	Referência
Lago Zigetang - Tibet	71.27 - 484.05	9.25	Yao <i>et al.</i> , 2008.
Sistema estuarino			
Cananeia-Iguape (SECI)* - Brasil	14.3 - 122.5	40	Saito <i>et al.</i> , 2001.
Plataforma continental			
adjacente ao SECI - Brasil	23.6 - 195.5	25	Saito <i>et al.</i> , 2001.
Cordilheira Mendeleev - Oceano Ártico	0.0305 - 0.445	34.25	Not <i>et al.</i> , 2008.

Os maiores valores de atividade de ^{210}Pb geram consequentemente maiores taxas de sedimentação. Assim, DT01 Sul apresentou a maior taxa média (0,43 cm/ano) em relação a DT02 NORTE (0,34 cm/ano).

Como os testemunhos foram coletadas em regiões relativamente equidistantes da desembocadura fluvial, a maior taxa de sedimentação encontrada em DT01 SUL sugere a deposição preferencial do sedimento fino transportado pelo rio Doce nessa região e é corroborada pela presença da camada de lama inconsolidada encontrada no topo do testemunho. Addington *et al.* (2007) também observaram uma deposição preferencial na região sudeste do delta do rio Waiapu (Nova Zelândia) através de taxas de sedimentação variadas encontradas para diferentes pontos da plataforma e atribuíram esse processo aos padrões de circulação oceanográficos locais.

Patchneelam e Smoak (1999) coletaram testemunhos na plataforma do Rio Doce próximo a região de estudo a 17 metros de profundidade e encontraram uma taxa de sedimentação de 0,23 cm/ano. Os autores coletaram também um testemunho na região do talude (1030 metros de profundidade) e encontraram uma taxa de 0,13 cm/ano. Tendo em vista que os testemunhos analisados no presente estudo foram coletados a cerca de 15 metros de profundidade e que os mesmos apresentaram maiores taxas de sedimentação em relação ao estudo op.cit. (0,43 e 0,34 para DT01 SUL e DT02 NORTE, respectivamente), observa-se uma tendência de aumento da taxa de sedimentação local.

A correlação de Pearson calculada para os testemunhos mostra um valor positivo entre os teores de argila e a taxa de sedimentação em DT01R SUL ($r^2=0,660$). Entretanto, o mesmo não é observado para DT02R NORTE e o testemunho mostra uma correlação negativa com os teores de silte ($r^2= -0,602$) e uma

correlação positiva pouco significativa com os teores de areia ($r^2=0,594$). Essa relação pode ser explicada pelo maior aporte de sedimentos finos de origem fluvial em DT01R SUL e de areia em DT02R NORTE.

Embora muitos estudos indiquem que a concentração de ^{210}Pb em sedimentos aumenta inversamente com o tamanho dos grãos do sedimento (Chanton *et al.* 1983, Carvalho 1995), essa relação não foi observada para o presente trabalho e a correlação de Pearson realizada não obteve significância.

4.2 Teores de MOT, COT, nutrientes e razão C/N

Os teores de MOT e COT apresentaram comportamento diferente dos demais elementos nos testemunhos. Para os compostos orgânicos acima, DT01 SUL obteve os menores valores em relação a DT02 NORTE.

Os menores valores de MOT e COT em DT01 SUL podem ser decorrentes de um comportamento antagônico em relação a influência do aporte fluvial. Keil *et al.* (1997) encontraram valores de %COT entre 0,19 a 3,08 em testemunhos sedimentares coletados no delta do rio Amazonas e observaram que as concentrações de MOT e COT encontradas no depósito deltaico eram menores do que aquelas encontradas no sedimento dos rios que os formavam. Segundo os autores, cerca de 1/3 dos teores de MOT e COT transportados pelos rios são depositados de fato no delta, uma média de 30% de todo o material para o rio Amazonas e médias ainda menores para os rios Fly (EUA) e Columbia (Nova Guiné).

Os maiores teores de %MOT e %COT encontrado em DT02 NORTE podem ser decorrentes da produção autóctone, teoria corroborada pelos valores das razões C/N tipicamente marinhas encontradas para o testemunho (Figura 12).

Vários autores apontam a relação com a granulometria como principal fator controlador do depósito de carbono orgânico no sedimento (Goñi *et al.* 2003, Gordon e Goñi 2004). Entretanto, essa relação não foi observada para o presente estudo e nenhum testemunho apresentou correlação significativa entre granulometria e matéria orgânica.

Ao se observar as flutuações nos teores de fósforo pode-se associar esse comportamento as variações na vazão do rio Doce em diferentes épocas. Avilés e Niell (2005) observaram uma relação direta entre os teores de fósforo e o escoamento fluvial. Segundo os autores, os maiores valores de fósforo apareceram após períodos de cheia e em seguida são encontrados valores menores, decorrente da maior

atividade fitoplanctônica. Carreira e Wagener (1998) observaram que os maiores teores de FI estavam associados a períodos de fortes chuvas e destacaram a importância desse processo na disponibilização do elemento para os corpos d'água.

Diversos autores (McComb *et al.* 1998, Koch *et al.* 2001, Avilés e Niell 2005) observaram que as concentrações de fósforo orgânico (FO) são menores do que as concentrações de fósforo inorgânico (FI) na composição das concentrações de fósforo total (FT) em regiões costeiras. Entretanto, as concentrações de FO no presente estudo foram maiores do que as concentrações de FI em DT01 SUL e em DT02 NORTE houve pouca diferença na concentração dos dois elementos (Figura13). Esse maior aporte nos teores de FO pode indicar a descarga de esgotos sem tratamento no rio Doce ou ainda uma produção fitoplanctônica autóctone significativa na plataforma.

Sendo ambos os testemunhos equidistantes da desembocadura do rio Doce, a diferenciação entre DT01 SUL e DT02 NORTE em relação aos valores de razão C/N corrobora com a hipótese de deposição preferencial do sedimento do rio em direção ao Sul (Figura 15). O mesmo comportamento foi observado por Addington *et al.* (2007) para testemunhos coletados na plataforma continental adjacente ao rio Waiapu (Nova Zelândia). Os autores observaram forte assinatura terrestre no testemunho coletado ao sul da desembocadura do rio enquanto o testemunho ao norte apresentou assinatura de transição marinha/terrestre indicando uma divergência no método de transporte e de fornecimento de sedimento para a plataforma.

Gordon e Goñi (2004) observaram um padrão semelhante a DT02 NORTE (teores entre 7,3 e 11,3) em relação aos valores de razão C/N. Os autores *op. cit* investigaram sedimentos superficiais no golfo do México e encontraram valores médios de 10,8 para a plataforma continental interna, 9,4 para a plataforma externa e 9,7 para o talude. A esse comportamento atribuíram a influência marinha na produção de matéria orgânica no sedimento dessas regiões.

Já Carreira *et al.* (2002) encontraram valores bem mais altos em testemunhos rasos (50 a 60 cm) localizados em diferentes pontos da baía de Guanabara. Segundo os autores, os valores para a razão C/N variaram entre 9 e 34,3 com média de 14. Por ser um ambiente de transição, o estuário da baía recebe forte aporte terrestre do manguezal e das atividades humanas desenvolvidas à suas margens, entretanto, os resultados mostram que a influência marinha no aporte da matéria orgânica faz com que a média das razões C/N permaneça entre a faixa de transição.

4.3 Concentração de metais (Cu e Pb) e índice de enriquecimento

Como apresentado anteriormente (capítulo 03) os teores de Cu foram maiores em DT01 SUL em relação a DT02 NORTE, com as maiores concentrações encontradas nas camadas superficiais do testemunho (Figura 16). Esse maior aporte no sedimento recente pode indicar uma maior disponibilização do metal por atividades antrópicas.

A disponibilização natural do cobre ocorre através da erosão e lixiviação de rochas mineralizadas e de processos biogênicos (Who 1998). O aporte antrópico na região de estudo pode ser decorrente da larga utilização do metal na agricultura como fertilizante e algicida, visto que a região ao entorno é reconhecida pelo grande desenvolvimento das atividades agropecuárias. Outro fator que poderia contribuir para o aumento dos níveis de metal antrópico é a presença do elemento em efluentes de esgoto lançados nos rios sem tratamento e ainda o escoamento superficial das águas da chuva pelas grandes áreas de pastagens carregando excretas de animais.

Lima *et al.* (2006) encontraram para Cu teores que oscilaram entre 11 a 75 mg/kg, com média de 31 mg/kg para a Plataforma Continental Amazônica. A concentração do Cu nos sedimentos de fundo da Plataforma Amazônica mostra uma distribuição decrescente em direção ao mar aberto. O autor observou uma tendência de diminuição e diluição das concentrações de muitos metais traço em direção à quebra da plataforma, em função de uma possível perda de capacidade de transporte de sedimentos pelos rios.

Valores bem maiores para Cu foram encontrados em estudo realizado por Baptista Neto *et al.* (2000) em sedimentos superficiais da Baía de Jurujuba (RJ), o qual encontrou concentrações entre 5 a 213 µg/g. A área estudada está inserida na baía de Guanabara que é um ambiente reconhecidamente poluído e os altos valores de cobre estão associados a grande atividade urbana em torno da baía de Jurujuba. Entretanto, Machado *et al.* (2002) analisaram três testemunhos coletados em área de mangue também na Baía de Guanabara e encontraram valores médios relativamente mais baixos para Cu (53, 34 e 40 µg/g). Os autores apontaram como causa dessa diminuição dos valores a característica que os metais apresentam de possuir transporte pouco eficaz e, com isso, as maiores concentrações geralmente encontram-se associadas as áreas fontes.

Os valores de Pb foram maiores em relação a Cu em ambos os testemunhos e maiores em DT01 SUL em relação a DT02 NORTE (Figura 16).

Para o Pb, as principais fontes naturais são as emissões vulcânicas que alcançam a atmosfera e o intemperismo geoquímico de rochas ígneas e metamórficas. Embora os processos naturais sejam significantes, os processos antropogênicos são predominantes (Who 1995).

A maior contaminação por Pb no mundo se deu pela adição do composto tetralquilchumbo à gasolina comum. O composto foi utilizado a partir de 1922 como antidetonante o que aumentava a octanagem da gasolina e melhorava o desempenho do combustível no motor. Só a partir da década de 90, após comprovada ação carcinogênica do produto, o composto foi efetivamente banido da gasolina na maior parte do mundo (Landrigan 2002). O Brasil foi um dos primeiros países a adotar essa mudança, trocando o composto a base de chumbo pelo etanol produzido no país (Paoliello e Chasin 2001).

Apesar da mudança, a longa utilização disponibilizou grandes quantidades do metal que ainda pode ser encontrada no ambiente. Um estudo realizado por Erel *et al.* (2001) no Mar da Galiléia (Israel) encontrou valores de chumbo entre 3 e 11,4 µg/g. Os autores concluíram que embora os níveis de chumbo na gasolina tenham decaído, o metal acumulado nas rodovias é lentamente transportado para o mar ao longo dos anos.

A bacia hidrográfica do Rio Doce é cortada por estradas com grandes fluxos de automóveis, o que tornaria o ambiente propício à deposição histórica do metal oriundo da queima de combustíveis fósseis, além da utilização atual de baterias com composição a base de chumbo. A cidade de Linhares onde se localiza a foz do Rio Doce, por exemplo, é cortada pela BR101, uma importante rodovia federal que liga o Sul do país a região Nordeste.

O Estado de Minas Gerais é historicamente uma região de mineração e abriga grande parte da bacia hidrográfica do Rio Doce. Estudos realizados por Jordão *et al.* (1999) em áreas de mineração encontraram teores de chumbo de até 60,3 µg/g em sedimentos superficiais. Entretanto, como observado anteriormente, os metais tendem a se depositar em regiões próxima a área fonte, além disso, a presença de barragens ao longo do curso do rio impediriam o acesso desses metais ao delta do rio.

Baptista Neto *et al.* (2000) encontraram valores ainda maiores para a baía de Jurujuba, variando entre 5 a 123 µg/g (Tabela 2). Os maiores valores encontrados na baía é decorrente do escoamento

superficial do grande centro urbano que circunda o corpo d'água, provavelmente devido a sua circulação restrita.

Os dois testemunhos apresentaram valores de EF maiores que uma unidade para Pb, o que caracteriza um ambiente impactado em relação ao metal (Figura 17). Os valores encontrados foram maiores em DT01 SUL (0,7 – 4) em relação a DT02 NORTE (1,1 – 2,5). O mesmo intervalo de DT01 SUL foi encontrado por Díaz-Aséncio *et al.* (2009) no estuário do rio Sagua la Grande em Cuba onde EF variou entre 1 – 4. O estuário cubano apresenta grande produtividade ecológica, entretanto a região em seu entorno é fortemente urbanizada e as concentrações de Pb encontradas acompanham diretamente o aumento da população local.

Kemp e Thomas (1976) encontraram intervalos ainda maiores para os Lagos Huron (1.1 - 6.2), Erie (0.9 - 6.7) e Ontario (6.7 – 14). Os lagos fazem parte do conjunto dos Grandes Lagos e localizam-se na fronteira entre Estados Unidos e Canadá, circulados por grandes centros urbanos dos dois países.

Tabela 2: Exemplos de estudos com índice de enriquecimento no território brasileiro.

Local	Elemento conservativo	Cu	Pb	Profundidade (cm)	Referência
Porto de Niterói	Fe	66.0	1.0	amostras superficiais	BAPTISTA NETO <i>et al.</i> , 2005.
Enseada de Jurujuba	Fe	27.4	8	amostras superficiais	BAPTISTA NETO <i>et al.</i> , 2000.
Baía de Guanabara	Fe	18	5.8	amostras superficiais	BAPTISTA NETO <i>et al.</i> , 2006.
Baía de Sepetiba	Al	1.6		45	GOMES <i>et al.</i> , 2009.

Em vista do que foi observado, os dois metais apresentam-se acima dos níveis naturais nas camadas mais recentes de sedimentação em ambos os testemunhos, com exceção do Cu em DT02 NORTE. Essa tendência indica um maior aporte dos metais de origem antrópica uma vez que a geologia próxima à região de estudo apresenta baixos níveis de Cu e Pb em sua constituição (Prof Luiz Machado comunicação pessoal).

A origem da produção e disponibilização desses elementos no delta do rio Doce muito possivelmente está associada ao trecho entre a cidade de Baixo Guandú até a foz em Linhares. Cabe ressaltar que em Baixo Guandú existe a barragem da Usina Hidrelétrica de Mascarenhas que trapearia boa carga de material sedimentar a montante do rio. No trecho entre a barragem e a foz encontram-se duas cidades de grande importância econômica para o estado do Espírito Santo, Colatina e Linhares, municípios esses com populações de 111.794 e 141.254 habitantes, respectivamente. Apesar de serem importantes centros urbanos no estado, apresentam índices pouco significativos em termos de tratamento de esgoto, 6% para Colatina e 16% para Linhares (PDITS 2004).

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Por meio dos resultados obtidos do comportamento de *proxies* no delta do Rio Doce foi possível identificar uma deposição preferencial do sedimento fino transportado pelo rio através da Plataforma Continental adjacente em direção ao Sul da desembocadura. Essa hipótese é corroborada pelas observações seguintes:

- Os testemunhos apresentaram composição de granulometria fina em sua maioria com maiores percentuais em DT01 SUL em relação a DT02. Em DT02 NORTE é possível observar uma transição clara do depósito em que na base do testemunho foram encontradas camadas com sedimentos lamosos enquanto que as camadas superficiais são compostas em sua maioria por sedimentos arenosos, indicando uma possível variação na direção da deposição de sedimento ao longo do tempo de Norte para Sul;
- O conjunto dos resultados obtidos para teor de água, densidade e porosidade identificaram um pacote sedimentar com características típicas de deposição recente em DT01R SUL. Já o sedimento em DT02R NORTE apresentou características de maior compactação;
- Sendo os pontos equidistantes da desembocadura, as maiores taxas de sedimentação encontradas em DT01R SUL indicam o maior aporte de sedimento para a região Sul em relação a região Norte, onde foi coletado o testemunho DT02R NORTE;
- A presença da matéria orgânica de origem terrestre foi visível em DT01 SUL, entretanto, não foi possível identificar a fonte efetiva do material pois a razão C/N para o testemunho ficou na faixa de transição entre fontes terrestres e fontes marinhas. Em DT02 NORTE ficou clara a importância da produção autóctone visto que a razão C/N obtida ficou na faixa da matéria orgânica de origem marinha. Para uma análise mais confiável quanto a origem da matéria orgânica deverão ser realizados estudos sobre a composição isotópica do material;
- Os valores de Cu estiveram próximos aos naturais com algumas exceções principalmente em DT01 SUL. Já os valores de Pb excederam o valor encontrado no *background* podendo indicar maior influência do aporte antrópico. Faz-se necessário o monitoramento periódico

dos níveis de metais para se entender o comportamento dos elementos no ambiente, principalmente em relação aos períodos de cheia e seca no Rio Doce.

5.2 Trabalhos futuros e considerações finais

O presente trabalho discute informações até então inexistentes na área de estudo, e pode servir de base para futuros trabalhos acerca da composição e distribuição de elementos que chegam ao ambiente marinho através do Rio Doce. Faz-se necessário o desenvolvimento de mais investigações científicas que tenham por objetivo a análise dos elementos encontrados no delta quanto a sua origem, identificando possíveis fontes de poluição ao longo da bacia hidrográfica do Rio Doce.

A distribuição destes elementos ao longo da plataforma continental também se faz importante, trabalhos que, como o presente estudo, identifiquem direções preferenciais de deposição, entretanto com maior número de amostragens e com maior distribuição espacial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addington LD, Kuehl SA e McNinch JE. 2007. Contrasting modes of shelf sediment dispersal off a high-yield river: Waiapu River, New Zealand. *Mar Geol* 243: 18–30.
- Albino J e Suguio K. 2010. Sedimentation processes e beach morphodynamics active at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Brazil. *An Acad Bras Ci* 82: 1031-1044.
- Andrews JE, Greenaway AM e Dennis PF. 1998. Combined carbon isopote e C/N ratios as indicators of source e fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts bay, Kingston harbor, Jamaica. *Estuar Coast Shelf S* 46: 743-756.
- Avilés A e Niell FX. 2005. Pattern of phosphorus forms in a Mediterranean shallow estuary: Effects of flooding events. *Estuar Coast Shelf S* 64: 786-794.
- Baptista Neto JA, Crapez M, McAlister JJ e Vilela CG. 2005. Concentration e Bioavailability of Heavy Metals in Sediments from Niterói Harbour (Guanabara Bay/S.E. Brazil). *J Coastal Res* 21: 811–817.
- Baptista Neto JA, Gingele FX, Leipe T e Brehme I. 2006. Spatial distribution of heavy metals in surficial sediments from Guanabara Bay: Rio de Janeiro, Brazil. *Environ Geol* 49: 1051–1063.
- Baptista Neto JA, Smith BJ e McAllister JJ. 2000. Heavy metal concentrations in surface sediments in a nearshore environment, Jurujuba Sound, Southeast Brazil. *Environ Pollut* 109: 1-9.
- Baptista Neto JÁ, Smith BJ, McAllister JJ. 1999. Sedimentological evidence of human impact on a nearshore environment: Jurujuba Sound, Rio de Janeiro State, Brazil. *Appl Geogr* 19: 153–177.
- Baskaran M e Naidu AS. 1995. ^{210}Pb -derived chronology and the fluxes of ^{210}Pb and ^{137}Cs isotopes into continental shelf sediments, East Chukchi Sea, Alaskan Arctic. *Geoch Cosmochim Acta* 59: 4435-4448.
- Bellucci LG, Frignani M, Paolucci D e Ravanelli M. 2002. Distribution of heavy metals in sediments of the Vanice Lagoon: the role of the industrial area. *Sci Total Environ* 295: 35-49.
- Bubb JM e Lester JN. 1991. The impact of heavy metals on lowland rivers e the implications for man e the environment. *Sci Total Environ* 100: 207-233.

Campos APM. 2011. Análise da variabilidade espacial e temporal da pluma do rio Doce (ES) através de sensoriamento remoto. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo.

Carpenter SR, Ludwig D e Brock WA. 1999. Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change. *Ecol Appl* 9: 751–771.

Carreira RS e Wagener ALR. 1998. Speciation of Sewage Derived Phosphorus in Coastal Sediments from Rio de Janeiro, Brazil. *Mar Pollut Bull* 36: 818-827.

Carreira RS, Wagener ALR, Readman JW, Fileman TW, Macko SA e Veiga A. 2002. Changes in the sedimentary organic carbon pool of a fertilized tropical estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic e molecular marker approach. *Mar Chem* 79: 207– 227.

Carvalho FP. 1995. ^{210}Pb e ^{210}Po in sediments e suspended matter in the Tagus estuary, Portugal. Local enhancement of natural levels by wastes from phosphate ore processing industry. *Sci Total Environ* 159: 201-214.

Carvalho FP, Oliveira JM e Soares AMM. 2011. Sediment accumulation e bioturbation rates in the deep Northeast Atlantic determined by radiometric techniques. *J Mar Sci* 68: 427–435.

Chanton JP, Martens CS e Kipphut GW. 1983. Lead- 210 sediment geochronology in a changing coastal environment. *Geochim Cosmochim Acta* 47: 1791-1804.

Chester R. 2003. *Marine geochemistry*, 2 nd ed., Blackwell.

Clark, R.B. 2001. *Marine Pollution*. 5th ed., Oxford University Press.

Coelho ALN. 2007. Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo Rio Doce / ES. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação do departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, Niterói.

Cundy AB, Croudace IW, Thomson J e Lewis JT. 1997. Reliability of salt marshes as “geochemical recorders” of pollution input: a case study from contrasting estuaries in Southern England. *Environ Sci Technol* 77: 778-784.

Díaz-Asencio M, Alonso-Hernández CM, Bolanos-Álvarez Y, Gómez-Batista M, Pinto V, Morabito R, Hernández-Albernas JI, Eriksson M e Sanchez-Cabeza JA. 2009. One century sedimentary record of Hg e Pb pollution in the Sagua estuary (Cuba) derived from ^{210}Pb e ^{137}Cs chronology. *Mar Pollut Bull* 59: 108–115.

Dominguez JML, Bittencourt ACSP e Martin L. 1983. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências* 13: 98-105.

Embrapa. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2 nd ed., Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas no Solo.

Erel Y, Dubowski Y, Halicz L, Erez J, Kaufman A. 2001. Lead concentrations e isotopic ratios in the sediments of the Sea of Galilee. *Environ Sci Technol*, 35: 292-299.

Fitchko J e Hutchinson TC. 1975. A comparative study of Heavy metal concentrations in River Mouth Sediments around the Great Lakes. *J Great Lakes Res* 1: 46-78.

França AMC. 1979. Geomorfologia da margem continental leste brasileira e da bacia oceânica adjacente. In: Geomorfologia da margem continental leste brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. Série Projeto Remac 7: 89–127.

Frignani M, Bellucci LG, Favotto M e Albertazzi S. 2005. Pollution historical trends as recorded by sediments at selected sites of the Venice Lagoon. *Environ Int* 31: 1011-1022.

Godinho E. 2012. Interpretação do sinal acústico de fundos lamosos em ambientes deposicionais distintos: estuário da baía de Vitória e plataforma interna adjacente a foz do rio Doce. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Ambiental como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental, Aracruz.

Gomes FMC. 2010. Estudo da dispersão de radionuclídeos na baía da Ilha Grande – RJ. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Gomes FC, Godoy JM, Godoy MLDP, Carvalho ZL, Lopes RT, Sanchez-Cabeza JA, Lacerda LD e Wasserman JC. 2009. Metal concentrations, fluxes, inventories e chronologies in sediments from Sepetiba e Ribeira Bays: A comparative study. *Mar Pollut Bull* 59: 123–133.

Goñi MA, Teixeira MJ e Perkey DW. 2003. Sources e distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA). *Estuar Coast Shelf S* 57: 1023–1048.

Gordon ES e Goñi MA. 2004. Controls on the distribution e accumulation of terrigenous organic matter in sediments from the Mississippi e Atchafalaya river margin. *Mar Chem* 92: 331–352.

Hankanson L. 1980. Na ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Res*, 14: 975-1001.

Jordão CP, Pereira JL, Jham GN, Bellato CR. 1999. Distribution of heavy metals in environmental samples near smelters e mining areas in Brazil. *Environ Technol*, 20: 489-498.

Keil RG, Mayer LM, Quay PD, Richey JE e Hedges JI. 1997. Loss of organic matter from riverine particles in deltas. *Geochim Cosmochim Acta* 61: 1507-1511.

Kemp AL e Thomas RL. 1976. Cultural impact on the geochemistry of the sediments of Lakes Ontario, Erie e Huron. *Geosci Can* 33: 191-207.

Kemp ALW, Thomas RL, Dell CI e Jaquet JM. 1976. Cultural impact on the geochemistry of the sediments in Lake Erie. *J Fish Res Board Can* 33: 440-462.

Kennish MJ. 2001. *Practical handbook of marine science*. 3th ed., CRC Press, 524p.

Kineke GC e Sternberg RW. 1995. Distribution of fluid muds on the Amazon continental shelf. *Mar Geol* 125: 193-233.

Kineke GC, Sternberg RW, Trowbridge JH e Geyer WR. 1996. Fluid-mud processes on the Amazon continental shelf. *Cont Shelf Res* 16: 667-696.

Knoppers B, Ekau W e Figueiredo AG. 1999. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. *Geo-Mar Lett* 19: 171-178.

Koch MS, Benz RE e Rudnick DT. 2001. Solid-phase phosphorus pools in highly organic carbonate sediments of northeastern Florida Bay. *Estuar Coast Shelf S* 52: 279-291.

- Landrigan PJ. The worldwide problem of lead in petrol. Bulletin of the world health organization, 80: 768, 2002.
- Libes SM. 2009. Introduction to Marine Biogeochemistry, 2 nd ed., United States of America: Elsevier.
- Lima EAR, Siqueira GW e Lima WN. 2006. Utilização dos critérios de avaliação ambiental de metais pesados nos sedimentos de fundo da plataforma continental do Amazonas. Bol Mus Para Emílio Goeldi Ciências Naturais 1: 105-114.
- Machado W, Moscatelli M, Rezende LG e Lacerda LD. Mercury, zinc, e copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. Environ Poll 120: 455–461, 2002.
- Martin L, Suguio K, Flexor JM e JD Archanjo. 1996. Coastal Quaternary Formations of the Southern Part of the State of Espírito Santo (Brazil.) An Acad Bras Ci 68: 389 – 404.
- McComb JA, Qiu S, Lukatelich RJ e McAuliffe TF. 1998. Spatial e temporal heterogeneity of sediment phosphorus in the Peel-Harvey estuarine system. Estuar Coast Shelf S 47: 561-577.
- Mehta AJ, Hayter E, Parker W, Krone R e Teeter A. 1989. Cohesive sediment transport: Process Description. J Hydraul Eng 115: 1076-1093.
- Meyers PA. 1997. Organic geochemical *proxies* of paleoceanographic, paleolimnologic e paleoclimatic processes. Org Geochem 27: 213-250.
- Meyers PA. 1994. Preservation of elemental e isotopic source identification of sedimentary organic matter. Chem Geol 114: 289-302.
- Nichols G. 2009. Sedimentology e Stratigraphy. 2nd ed., United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 419p.
- Niencheski LF, Milani MR e Milani I. 2008. Metais traço: Água. In: Poluição Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 440p.
- Nolting RF, Ramkema A e Everaarts JM. 1999. The geochemistry of Cu, Cd, Zn, Ni e Pb in sediment cores from the continental slope of Banc d' Arquin (Mauritani). Cont Shelf Res 19: 665–691.
- Not C, Hillaire-Marcel C, Ghaleb B, Polyak L e Darby D. 2008. ^{210}Pb – ^{226}Ra – ^{230}Th systematics in very low sedimentation rate sediments from the Mendeleev Ridge (Arctic Ocean). Can J Earth Sci 45: 1207–1219.

- Paoliello MMB e Chasin AAM. 2001. Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos. Governo da Bahia.
- Parsons TR. 1975. Particulate organic carbon in the sea. In: Chemical Oceanography, JP Riley e G Skirrow (eds), Academic Press.
- Patchineelam SR e Smoak JM. 1999. Sediment accumulation rates along the inner eastern Brazilian continental shelf. *Geo-Marine Letters* 19: 196-201.
- PDITS - Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável. 2004. Pólo Capixaba do Verde e das Águas, Espírito Santo.
- Perdue EM e Koprivnjak JF. 2007. Using the C/N ratio to estimate terrigenous inputs of organic matter to aquatic environments. *Estuar Coast Shelf S* 73: 65-72.
- Pereira E, Baptista-Neto JA, Smith BJ, Mcallister JJ. 2007. The contribution of heavy metal pollution derived from highway runoff to Guanabara Bay sediments – Rio de Janeiro / Brazil. *An Acad Bras Ci* 79: 1-12.
- Raja P e Hameed PS. 2010. Study on the distribution e bioaccumulation of natural radionuclides ^{210}Po e ^{210}Pb in Parangipettai Coast, South East Coast of India. *Indian J Mar Sci* 39: 449 – 455.
- Rullkötter J. 2000. Organic matter: the driving force for early diagenesis. In: *Marine Geochemistry*, Springer.
- Saito RT. 1996. Determinação de Pb e Po em amostras marinhas e aerossóis. Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Autarquia associada à Universidade de São Paulo.
- Saito RT. 2002. Radionuclídeos (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{210}Po E ^{137}Cs) no sistema Costeiro Cananéia-Iguape: estudos ambientais. Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Autarquia associada à Universidade de São Paulo.
- Saito RT, Figueira RCL, Tessler MG e Cunha ILL. 2001. Geochronology of sediments in the Cananeia-Iguape estuary e in southern continental shelf of São Paulo State, Brazil. *J Radioanal Nucl Ch* 250: 109–115.

Sommerfield CK, Ogston AS, Mullenbach BL, Drake DE, Alexander CR, Nittrouer CA, Borgeld JC, Wheatcroft RA e Leithold EL. 2007. Oceanic dispersal e accumulation of river sediment. In: Nittrouer CA *et al.* (Eds), *Continental Margin Sedimentation: From Sediment Transport to Sequence Stratigraphy*, Blackwell Publishing, UK, p. 157-212.

Valentim E, Hazin CA, Khoury HJ, Lima RA e Godoy JM. 1995. ^{210}Po e ^{210}Pb em águas subterrâneas da região fosfática de Pernambuco. In *Anais do III Encontro de Aplicações Nucleares 1*: 311–315, Águas de Lindóia, SP.

Veiga FA, Ângulo RJ, Sá F, Odreski LLR, Lamour MR e Disaró ST. 2006. Origin of Mud Deposits in a Wave Dominated Shallow Inner Continental Shelf of the State of Paraná Coast, Southern Brazil. *J Coastal Res* 39: 262 – 265.

Walsh JP e Nittrouer CA. 2009. Understanding fine-grained river-sediment dispersal on continental margins. *Mar Geol* 263: 34–45.

Wasserman JC e Wasserman MA. 2008. Comportamento de metais em sedimentos. In: *Poluição Marinha*. Rio de Janeiro, Interciência, 440p.

Who. 1998. World Health Organization. Environmental Health Criteria: Copper. Geneva.

Who. 1995. World Health Organization. Environmental Health Criteria: Inorganic Lead. Geneva.

Winterwerp JA e Van Kesteren WGM. 2004. Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment. *Developments in Sedimentology*, Amsterdam: Elsevier, 466p.

Worsfold PJ, Monbet P, Tappin AD, Fitzsimons MF, Stiles DA e McKelvie ID. 2008. Characterisation e quantification of organic phosphorus e organic nitrogen components in aquatic systems: A Review. *Anal Chim Acta* 624: 37–58.

Yao SC, Li SJ e Zhang HC. 2008. ^{210}Pb e ^{137}Cs dating of sediments from Zige Tang Lake, Tibetan Plateau. *J Radioanal Nucl Ch* 27: 55–58.

ANEXOS

ANEXO A

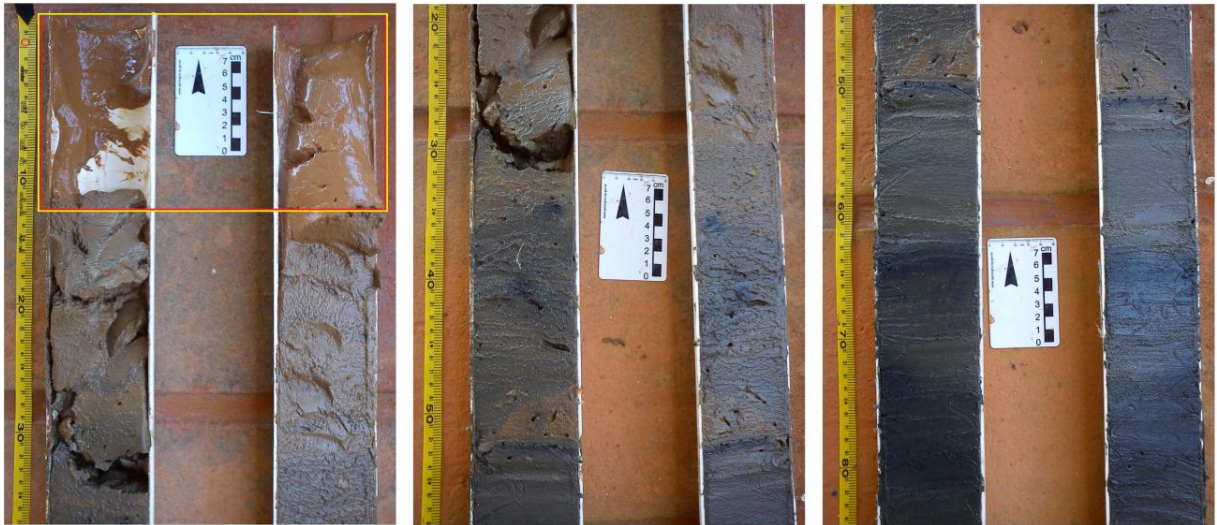


Figura A1: Seções de DT01 SUL. Destaque para a camada de lama inconsolidada.

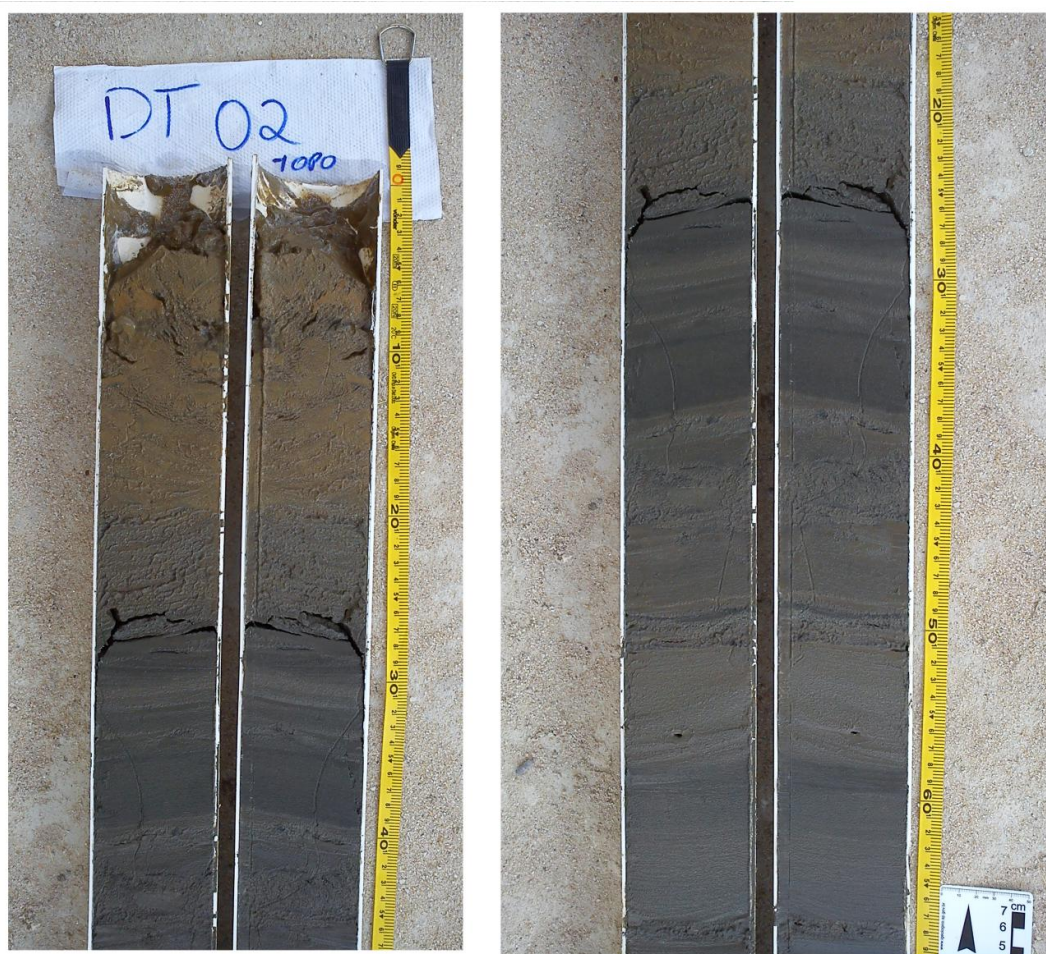


Figura A2: Seções de DT02 NORTE.

ANEXO B

Tabela B1: Granulometria do testemunho DT01 SUL.

DT01 SUL							
Profundidade (cm)	%AREIA	%SILTE	%ARGILA	Profundidade (cm)	%AREIA	%SILTE	%ARGILA
00-01	3.55	81.25	15.20	30-31	39.12	56.90	3.99
01-02	2.84	83.76	13.40	31-32	45.18	50.80	4.02
02-03	3.87	84.26	11.87	32-33	35.45	58.72	5.83
03-04	10.36	77.99	11.65	33-34	36.91	56.99	6.11
04-05	5.61	82.34	12.05	34-35	21.58	71.76	6.66
05-06	8.68	80.65	10.68	35-36	40.06	55.30	4.63
06-07	5.04	82.32	12.63	36-37	49.43	47.50	3.07
07-08	7.35	82.65	10.00	37-38	48.63	48.34	3.03
08-09	4.84	81.29	13.87	38-39	54.29	43.62	2.09
09-10	5.37	81.17	13.46	39-40	53.39	44.41	2.20
10-11	17.71	72.38	9.90	40-41	32.72	63.13	4.15
11-12	17.85	73.95	8.20	41-42	38.60	57.54	3.86
12-13	17.20	75.07	7.74	42-43	39.14	56.87	3.99
13-14	18.41	74.54	7.05	43-44	34.81	60.28	4.91
14-15	20.40	72.74	6.86	44-45	17.53	75.70	6.77
15-16	35.73	59.34	4.93	45-46	19.30	74.41	6.29
16-17	29.37	65.04	5.59	46-47	28.74	64.91	6.35
17-18	28.47	66.55	4.98	47-48	16.96	75.19	7.85
18-19	34.58	61.41	4.01	48-49	18.54	73.85	7.61
19-20	29.49	65.24	5.27	49-50	35.85	59.06	5.09
20-21	22.46	70.79	6.75	50-51	22.60	71.23	6.17
21-22	23.70	70.50	5.80	51-52	22.32	70.46	7.22
22-23	25.72	69.32	4.96	52-53	20.23	73.21	6.55
23-24	22.77	71.54	5.68	53-54	16.51	77.52	5.96
24-25	37.35	58.47	4.18	54-55	14.44	77.14	8.42
25-26	53.55	43.60	2.85	55-56	12.95	79.41	7.64
26-27	15.98	77.32	6.70	56-57	11.39	80.15	8.46
27-28	28.20	65.57	6.23	57-58	15.01	75.96	9.03
28-29	29.66	65.69	4.65	58-59	5.01	87.48	7.51
29-30	33.11	61.77	5.12	59-60	42.68	52.71	4.61

Tabela B2: Granulometria do testemunhos DT02 NORTE.

DT02 NORTE							
Profundidade (cm)	%AREIA	%SILTE	%ARGILA	Profundidade (cm)	%AREIA	%SILTE	%ARGILA
00-01	68.40	29.93	1.67	30-31	10.71	80.71	8.58
01-02	57.17	40.45	2.38	31-32	10.30	82.10	7.60
02-03	54.48	42.48	3.03	32-33	15.09	78.29	6.62
03-04	71.93	26.58	1.49	33-34	46.98	48.56	4.46
04-05	71.33	27.24	1.43	34-35	35.16	59.84	5.01
05-06	72.79	26.01	1.20	35-36	16.28	77.51	6.21
06-07	62.44	35.27	2.28	36-37	43.10	52.76	4.14
07-08	60.99	36.81	2.19	37-38	54.85	41.94	3.21
08-09	61.12	36.64	2.23	38-39	54.60	42.42	2.98
09-10	58.66	38.71	2.63	39-40	39.48	55.84	4.67
10-11	62.80	35.04	2.16	40-41	27.34	66.35	6.32
11-12	70.85	27.67	1.48	41-42	15.41	78.98	5.61
12-13	74.57	24.11	1.33	42-43	18.53	75.68	5.79
13-14	71.48	27.09	1.42	43-44	27.73	66.30	5.98
14-15	69.94	28.36	1.70	44-45	44.77	51.28	3.96
15-16	72.64	25.79	1.57	45-46	52.08	44.94	2.98
16-17	67.06	31.26	1.69	46-47	26.16	69.17	4.67
17-18	69.45	28.86	1.69	47-48	24.01	71.31	4.68
18-19	71.19	27.16	1.65	48-49	38.50	57.98	3.52
19-20	71.11	27.26	1.64	49-50	32.79	63.17	4.05
20-21	70.79	27.47	1.74	50-51	31.37	64.72	3.91
21-22	63.12	34.03	2.85	51-52	29.56	65.55	4.89
22-23	44.46	50.67	4.87	52-53	14.00	79.03	6.97
23-24	29.47	64.56	5.97	53-54	8.00	82.83	9.17
24-25	20.10	74.26	5.64	54-55	14.61	78.72	6.67
25-26	43.71	51.88	4.41	55-56	9.88	82.31	7.81
26-27	33.31	61.41	5.28	56-57	17.12	76.47	6.41
27-28	26.29	67.32	6.39	57-58	17.44	75.84	6.72
28-29	29.37	64.50	6.14	58-59	24.93	68.94	6.13
29-30	14.63	78.94	6.44	59-60	23.64	69.77	6.59

ANEXO C

Tabela C1: Teor de água, densidade e porosidade em DT01R SUL.

DT01R SUL							
Profundidade (cm)	P úmido (g)	P seco (g)	P água (g)	Teor de água (%)	Densidade (g/cm ³)	Volume bruto (cm ³)	Porosidade
5-8	90.12	32.54	57.58	176.92	1.27	70.86	0.81
8-11	91.20	31.96	59.24	185.37	1.26	72.29	0.82
11-14	100.01	35.58	64.43	181.08	1.27	78.95	0.82
14-17	110.65	37.46	73.19	195.35	1.25	88.48	0.83
17-20	118.93	46.44	72.49	156.10	1.30	91.45	0.79
20-23	127.30	52.58	74.72	142.11	1.32	96.18	0.78
23-26	138.35	55.97	82.38	147.17	1.31	105.22	0.78
26-29	138.89	75.47	63.42	84.04	1.47	94.23	0.67
29-32	138.36	64.48	73.88	114.58	1.38	100.20	0.74
32-35	158.55	84.00	74.55	88.75	1.46	108.84	0.68
35-38	143.16	59.53	83.63	140.48	1.33	107.93	0.77
38-41	147.28	66.65	80.63	120.97	1.37	107.83	0.75
41-44	169.07	94.26	74.81	79.37	1.49	113.28	0.66
44-47	176.82	79.26	97.56	123.08	1.36	129.91	0.75
47-50	151.29	74.96	76.33	101.82	1.41	106.92	0.71
50-53	169.64	83.36	86.28	103.51	1.41	120.31	0.72
53-56	153.94	73.37	80.57	109.80	1.39	110.52	0.73
56-59	130.87	58.71	72.16	122.92	1.36	96.12	0.75
59-62	161.73	84.64	77.09	91.07	1.45	111.63	0.69

Tabela C2: Teor de água, densidade e porosidade em DT02R NORTE.

DT02R NORTE							
Profundidade (cm)	P úmido (g)	P seco (g)	P água (g)	Teor de água (%)	Densidade (g/cm ³)	Volume bruto (cm ³)	Porosidade
0-3	181.93	97.73	84.20	86.15	1.47	124.09	0.68
3-6	174.91	119.61	55.30	46.24	1.68	104.12	0.53
6-9	218.07	150.97	67.10	44.44	1.69	128.72	0.52
9-12	195.65	140.92	54.73	38.83	1.74	112.25	0.49
12-15	183.07	123.22	59.85	48.57	1.66	110.14	0.54
15-18	206.33	144.43	61.90	42.86	1.71	120.85	0.51
18-21	182.39	103.99	78.40	75.38	1.51	120.84	0.65
21-24	155.14	82.83	72.31	87.30	1.46	106.12	0.68
24-27	176.26	94.01	82.25	87.50	1.46	120.62	0.68
27-30	158.46	104.93	53.53	51.02	1.64	96.36	0.56
30-33	176.50	122.72	53.78	43.82	1.70	103.87	0.52
33-36	194.18	131.16	63.02	48.05	1.67	116.56	0.54
36-39	167.12	75.96	91.16	120.00	1.37	122.16	0.75
39-42	185.13	110.81	74.32	67.07	1.55	119.55	0.62
42-45	182.31	109.39	72.92	66.67	1.55	117.57	0.62
45-48	185.98	113.72	72.26	63.54	1.57	118.68	0.61
48-51	167.59	83.80	83.79	100.00	1.42	118.00	0.71
51-54	164.61	89.79	74.82	83.33	1.48	111.47	0.67
54-57	170.25	93.09	77.16	82.89	1.48	115.16	0.67
57-60	152.46	78.29	74.17	94.74	1.44	106.12	0.70

ANEXO D

Tabela D1: Atividade de ^{210}Pb e taxa de sedimentação calculada para DT01R SUL.

DT01R SUL		
Profundidade (cm)	Atividade de ^{210}Pb (Bq/kg)	Taxa de sedimentação (g/ano)
5.00	92.77	0.55
8.00	88.08	0.56
11.00	74.97	0.55
14.00	83.61	0.58
17.00	113.09	0.48
20.00	131.86	0.43
23.00	142.66	0.43
26.00	129.89	0.26
29.00	145.73	0.28
32.00	118.82	0.19
35.00	175.26	0.20
38.00	170.96	0.13
41.00	107.22	0.04
44.00	96.47	0.05
47.00	98.26	0.04
50.00	70.220	0.04
53.00	73,71	0.04
56.00	140,22	0.03
59.00	104,91	0.04

Tabela D2: Atividade de ^{210}Pb e taxa de sedimentação calculada para DT02R NORTE.

DT02R NORTE		
Profundidade (cm)	Atividade de ^{210}Pb (Bq/kg)	Taxa de sedimentação (g/ano)
0	98.05	0.63
3	109.34	0.42
6	54.01	0.4
9	50.77	0.34
12	41.63	0.34
15	32.01	0.29
18	51.87	0.36
21	80.47	0.36
24	58.52	0.33
27	57.73	0.2
30	39.30	0.14
33	46.18	0.08
36	56.75	0.04
39	59.70	0.04
42	47.09	0.04
45	49.00	0.04
48	52.59	0.04
54	52,78	0.04
57	51,65	0.04

ANEXO E

Tabela E1: Valores de carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica total (MOT) para os testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.

Profundidade (cm)	DT01 SUL		DT02 NORTE	
	COT (%)	MOT (%)	COT (%)	MOT (%)
0	2.2	3.9	2.3	4.0
5	2.4	4.2	2.7	4.6
10	1.9	3.2	2.5	4.3
15	2.4	4.1	2.4	4.2
20	2.4	4.1	2.3	4.0
25	2.1	3.6	2.6	4.4
30	2.4	4.1	2.3	4.0
35	2.4	4.1	2.7	4.6
40	2.5	4.2	2.5	4.2
45	2.5	4.2	2.7	4.7
50	2.3	4.0	3.0	5.2
55	2.3	4.0	2.4	4.1
60	2.5	4.2	4.1	7.1

ANEXO F

Tabela F1: Concentrações de carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e razão C/N nos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.

Profundidade (cm)	DT01 SUL			DT02 NORTE		
	%CT	%NT	C/N	%CT	%NT	C/N
0	1.9	0.22	8.64	0.96	0.1	9.60
5	2.03	0.2	10.15	0.89	0.14	6.36
10	2.31	0.21	11.00	1.24	0.15	8.27
15	2.85	0.19	15.00	0.75	0.11	6.82
20	3.05	0.16	19.06	0.54	0.12	4.50
25	1.43	0.16	8.94	1.3	0.18	7.22
30	2.69	0.16	16.81	1.43	0.19	7.53
35	2.77	0.17	16.29	1.97	0.25	7.88
40	1.77	0.16	11.06	1.51	0.19	7.95
45	1.62	0.14	11.57	1.39	0.17	8.18
50	2.53	0.16	15.81	1.5	0.16	9.38
55	1.39	0.12	11.58	1.97	0.24	8.21
60	2.61	0.18	14.50	1.74	0.19	9.16

ANEXO G

Tabela G1: Teores de fósforo total (FT), inorgânico (FI) e orgânico (FO) ao longo dos testemunhos DT01 SUL e DT02 NORTE.

Profundidade (cm)	DT01 SUL			DT02 NORTE		
	FT (mg/g)	FI (mg/g)	FO (mg/g)	FT (mg/g)	FI (mg/g)	FO (mg/g)
0	0.32	0.12	0.20	0.19	0.06	0.13
1	0.26	0.12	0.15	0.16	0.07	0.10
2	0.29	0.08	0.21	0.17	0.07	0.10
3	0.27	0.08	0.19	0.12	0.05	0.06
4	0.28	0.09	0.20	0.10	0.05	0.04
5	0.26	0.09	0.17	0.11	0.06	0.05
6	0.28	0.08	0.20	0.11	0.05	0.06
7	0.28	0.10	0.19	0.14	0.06	0.07
8	0.29	0.10	0.19	0.14	0.05	0.09
9	0.32	0.14	0.19	0.14	0.02	0.12
10	0.33	0.10	0.22	0.13	0.06	0.06
15	0.26	0.07	0.20	0.10	0.05	0.05
20	0.35	0.10	0.25	0.08	0.05	0.03
30	0.34	0.12	0.22	0.21	0.12	0.09
40	0.24	0.10	0.14	0.22	0.09	0.12
50	0.24	0.10	0.14	0.17	0.08	0.08
60	0.30	0.14	0.16	0.23	0.12	0.11

ANEXO H

Tabela H1: Concentrações dos metais Cu e Pb encontrados nos dois testemunhos (DT01 SUL e DT02 NORTE) coletados na região da foz do Rio Doce (sm = sem medições).

Profundidade (cm)	DT01 SUL		DT02 NORTE	
	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)
0-1	7,756	12,061	7,577	15,024
1-2	6,592	8,352	4,458	8,632
2-3	5,670	8,276	4,602	10,008
3-4	6,412	2,802	5,106	9,041
4-5	9,942	4,872	3,602	6,502
5-6	5,463	8,033	3,024	5,854
6-7	6,050	10,843	3,574	6,000
7-8	sm	sm	4,000	6,969
8-9	8,742	14,000	4,143	8,255
9-10	8,823	14,947	3,903	8,032
10-11	5,025	11,405	5,046	10,523
15-16	4,372	12,632	3,746	7,302
20-30	6,719	11,469	3,636	6,609
30-40	6,000	9,065	8,637	12,653
40-50	5,000	8,219	8,398	12,315
50-60	6,636	9,023	8,664	12,016